



# MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

EL CONTENIDO DE ESTE ARCHIVO NO PODRÁ SER ALTERADO O MODIFICADO TOTAL O PARCIALMENTE, TODA VEZ QUE PUEDE CONSTITUIR EL DELITO DE FALSIFICACIÓN DE DOCUMENTOS DE CONFORMIDAD CON EL ARTÍCULO 244, FRACCIÓN III DEL CÓDIGO PENAL FEDERAL, QUE PUEDE DAR LUGAR A UNA SANCIÓN DE **PENA PRIVATIVA DE LA LIBERTAD** DE SEIS MESES A CINCO AÑOS Y DE CIENTO OCHENTA A TRESCIENTOS SESENTA DÍAS MULTA.

**DIRECCION GENERAL DE**  
IMPACTO Y RIESGO  
**AMBIENTAL**

# CAPÍTULO I

DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL





# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

## ÍNDICE

I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	2
I.1 Datos Generales del proyecto.....	2
I.1.1 Nombre del proyecto.....	2
I.1.2. Ubicación del proyecto.....	2
I.1.3. Dimensiones del proyecto.....	4
I.1.4. Duración del proyecto.....	7
I.2. Datos generales del responsable del estudio de impacto ambiental.....	9
I.2.1 Nombre o razón Social.....	9
I.2.2 Nombre del Representante Legal de la empresa.....	9
I.2.3 Registro Federal de Contribuyentes o CURP.....	9

## I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

### I.1 Datos Generales del proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo principal frenar las afectaciones en la playa por efecto de fenómenos naturales (tormentas tropicales, huracanes y presencia de sargazo), así como antrópicos, como lo es la construcción de los espigones presentes en el área, además de rehabilitar la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, para que cumpla sus funciones ambientales, sociales y económicas.

#### I.1.1 Nombre del proyecto

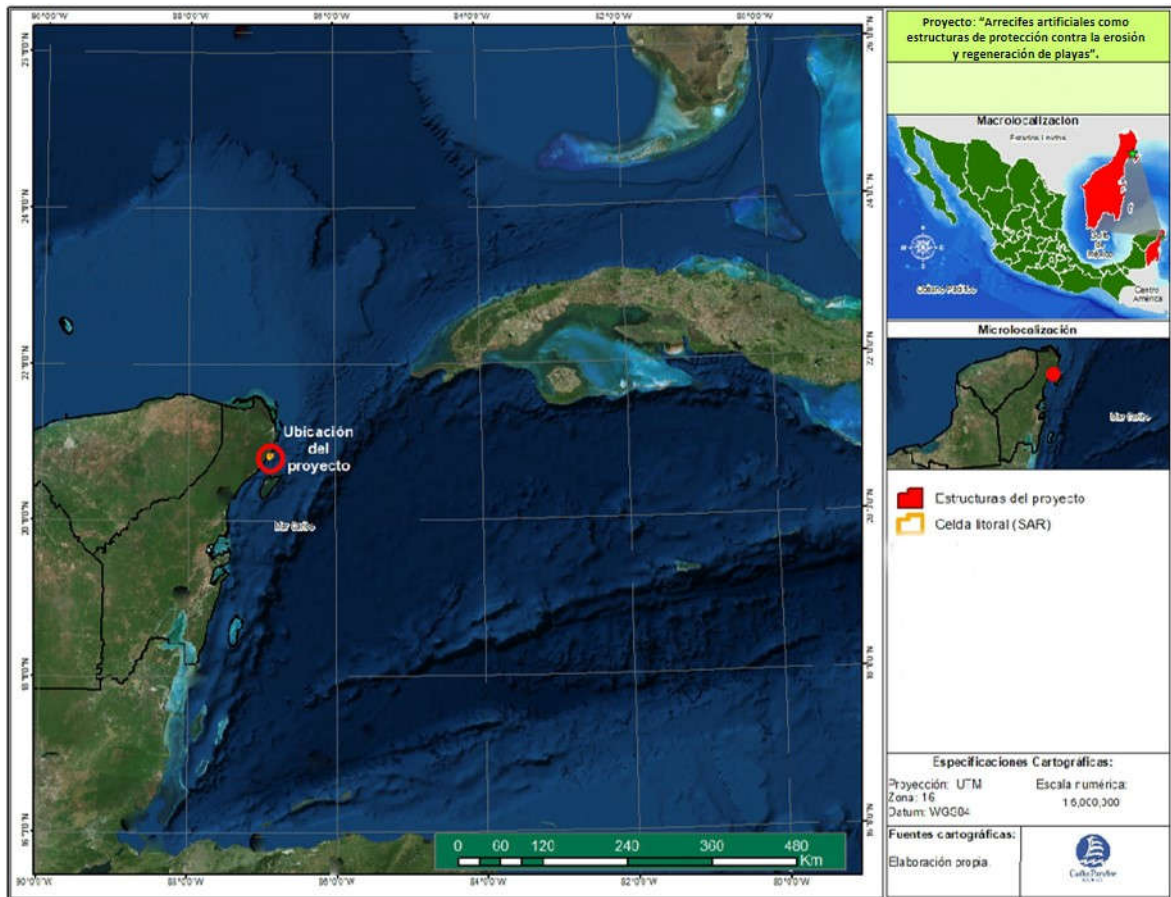
**“Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

#### I.1.2. Ubicación del proyecto

El proyecto **“Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”** se localiza en el municipio de Puerto Morelos al noroeste del estado de Quintana Roo, en el corredor turístico Cancún-Tulum, mejor conocido como La Riviera Maya.



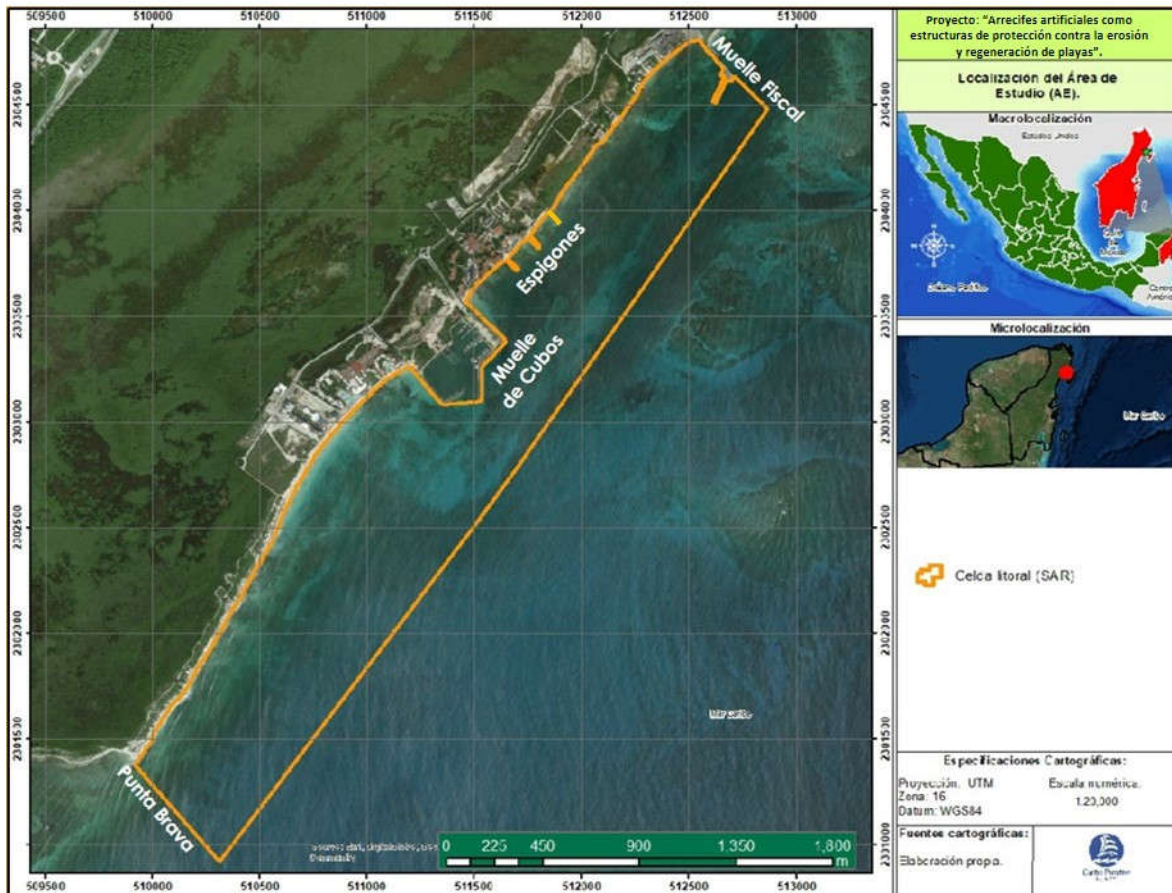
# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 1.** Macrolocalización del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.

El área de estudio, donde ubica el proyecto, se localiza a 26 km de Cancún, a 27 km de Playa del Carmen y a 2.2 km de la carretera Cancún-Tulum (Carretera Federal 307).

# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 2.** Área del Estudio, donde se encuentra incluido el proyecto.

## I.1.3. Dimensiones del proyecto

La obra consiste en un grupo de cuatro arrecifes artificiales, tres de ellos desvinculados de la costa, con una longitud de 120 m, 90 m, 70 m y el último en forma de T (70x50), que protege un frente costero de aproximadamente 800 m, acompañados con un relleno artificial de arena para la rápida formación de playa, y la sustitución de tres estructuras impermeables (espigones).

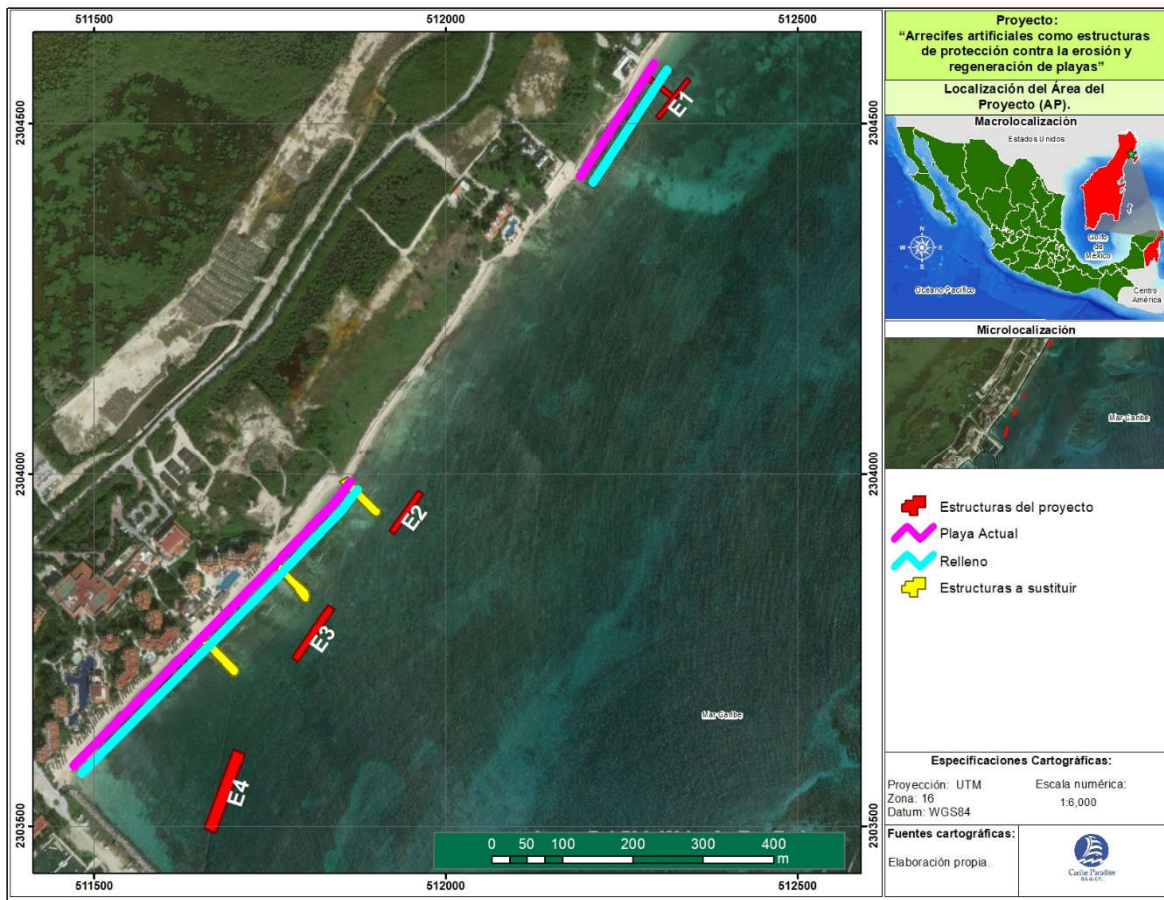
Para esto, las actividades que se realizarán son:

1) la construcción de cuatro arrecifes artificiales (o bien, estructuras de protección costera) para reducir la energía del oleaje y la capacidad del transporte litoral, sedimentación y acumulación de arena sobre la costa,



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- 2) la regeneración del ancho de la playa seca a través de un relleno artesanal de arena y,
- 3) la sustitución de tres espigones rígidos, colocados en el frente de playa donde se ubicarán los arrecifes artificiales, por andadores piloteados de madera con la finalidad de permitir el paso tanto del agua como de sedimentos.



**Figura 3.** Elementos que componen el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.

Las coordenadas de ubicación de los arrecifes artificiales (o estructuras de protección) que se colocarán, así como de los espigones que se sustituirán se muestran a continuación:

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 1.** Coordenadas de ubicación de los arrecifes artificiales (estructuras de protección).

Estructuras	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
E1	1	512342.82	2304565.52
	2	512348.23	2304561.25
	3	512304.91	2304506.26
	4	512299.49	2304510.53
	5	512323.29	2304540.73
	6	512319.01	2304535.31
	7	512279.74	2304566.26
	8	512284.01	2304571.68
E2	1	511962.46	2303977.23
	2	511968.87	2303972.61
	3	511927.96	2303915.81
	4	511921.55	2303920.43
E3	1	511826.82	2303803.21
	2	511834.48	2303797.94
	3	511783.39	2303723.84
	4	511775.73	2303729.12
E4	1	511696.68	2303614.6
	2	511712.05	2303608.9
	3	511670.23	2303496.4
	4	511654.87	2303502.1

**Tabla 2.** Coordenadas de ubicación de los espigones a sustituir.

Espigones	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
Espigón	1	511696	2303720
	2	511653	2303771
Espigón	1	511792	2303829
	2	511754	2303869
Espigón	1	511877	2303964
	2	511846	2303990

#### **I.1.4. Duración del proyecto**

La realización del proyecto tendrá una duración total de un periodo de 109 semanas (25 meses). La vida útil del proyecto, con su correspondiente mantenimiento será de 90 años, en caso que por la presencia de algún fenómeno natural como sería un huracán de gran intensidad, moviera alguna de las piezas que conforman los arrecifes artificiales (estructuras de protección), y se llegue a implementar alguna actividad de urgente aplicación, esto será notificado a la autoridad competente.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 3.** Programa General de Trabajo.

OBRAS Y ACTIVIDADES	MESES																									AÑO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	99
Rescate y reubicación de fauna	■				■			■				■														
Colocación de geomalla		■				■			■				■									■	■	■		
Transporte de piezas		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
Colocación de piezas		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
Monitoreo de arrecifes artificiales						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Señalización de arrecifes artificiales					■			■				■			■			■			■			■		
Reacomodo de piezas						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Arrecifes artificiales (vida útil)						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Retiro de material de espigones												■			■			■								
Hincado de pilotes													■			■			■			■				
Instalación del andador														■			■			■						
Monitoreo del área liberada															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Andadores piloteados (vida útil)															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Traslación de la arena																							■	■	■	■
Vertido y acomodo de arena																							■	■	■	■
Monitoreo de playa																									■	■
Playa rehabilitada (vida útil)																									■	■
<b>ETAPA</b>	<b>PREPARACIÓN DEL SITIO</b>								<b>CONSTRUCCIÓN</b>								<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>									

**I.2. Datos generales del responsable del estudio de impacto ambiental**

**I.2.1 Nombre o razón Social**

TEO CONSULTORIA AMBIENTAL, S.C. (RFC: TCA100722SQ4, Anexo I.9).

**I.2.2 Nombre del Representante Legal de la empresa**

BIOL. OSCAR J. VERA MACKINTOSH (IFE, Anexo I.10).

**I.2.3 Registro Federal de Contribuyentes o CURP**

**Cédula Profesional:** 656199 (Anexo I.13).

# CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS O ACTIVIDADES Y, EN SU CASO, DE  
LOS PROGRAMAS O PLANES PARCIALES DE DESARROLLO





**ÍNDICE**

II. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS O ACTIVIDADES Y, EN SU CASO, DE LOS PROGRAMAS O PLANES PARCIALES DE DESARROLLO ..... 4

II.1 Información general del proyecto ..... 4

II.1.1 Introducción ..... 4

II.1.2 Justificación ..... 9

II.1.3 Objetivos ..... 10

II.1.4 Naturaleza del proyecto ..... 10

II.1.5 Ubicación física..... 11

II.1.6 Inversión requerida..... 17

II.2 Características particulares del proyecto ..... 18

II.2.1 Programa de trabajo ..... 18

II.2.2 Representación gráfica regional ..... 20

II.2.3 Representación gráfica local ..... 20

II.2.4 Preparación del sitio y construcción ..... 22

II.2.4.1 Preparación del sitio..... 22

II.2.4.1.1 Rescate y reubicación de fauna ..... 22

II.2.4.1.2 Colocación de geomalla o malla geotextil ..... 23

II.2.4.2 Construcción ..... 23

II.2.4.2.1 Arrecifes artificiales..... 23

II.2.4.2.1.1 Transporte de piezas ..... 26

II.2.4.2.1.2 Colocación de piezas ..... 34

II.2.4.2.1.3 Señalización de estructuras ..... 36

II.2.4.2.2 Sustitución de espigones por andadores piloteados ..... 36

II.2.4.2.2.1 Retiro de material de estructuras permeables ..... 39

II.2.4.2.2.2 Hincado de pilotes ..... 41

II.2.4.2.2.3 Instalación del andador ..... 42

II.2.4.2.3 Regeneración de la playa ..... 45



II.2.4.2.3.1	Traslocación de arena .....	58
II.2.4.2.3.2	Vertido y acomodo de arena.....	60
II.2.5	Operación y mantenimiento.....	60
II.2.5.1	Estructuras de protección costera .....	60
II.2.5.1.1	Monitoreo de estructuras de protección costera.....	60
II.2.5.1.2	Señalización de estructuras (mantenimiento) .....	61
II.2.5.1.3	Reacomodo de piezas.....	62
II.2.5.2	Andadores piloteados .....	62
II.2.5.2.1	Monitoreo del área liberada .....	62
II.2.5.3	Playa rehabilitada.....	62
II.2.5.3.1	Monitoreo de la playa.....	62
II.2.6	Desmantelamiento y abandono de las instalaciones .....	63
II.2.7	Residuos .....	63
II.2.8	Generación de gases de efecto invernadero .....	63
II.2.8.1	Generación de gases de efecto invernadero.....	64
II.2.8.1.1	Estructuras de protección costera .....	65
II.2.8.1.2	Sustitución de estructuras impermeables por estructuras permeables o andadores piloteados.....	66
II.2.8.1.3	Regeneración del ancho de playa .....	69
II.2.8.2	Estimación de la cantidad de energía disipada por el desarrollo del proyecto	
	70	
II.3	Referencias.....	71



## **II. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS O ACTIVIDADES Y, EN SU CASO, DE LOS PROGRAMAS O PLANES PARCIALES DE DESARROLLO**

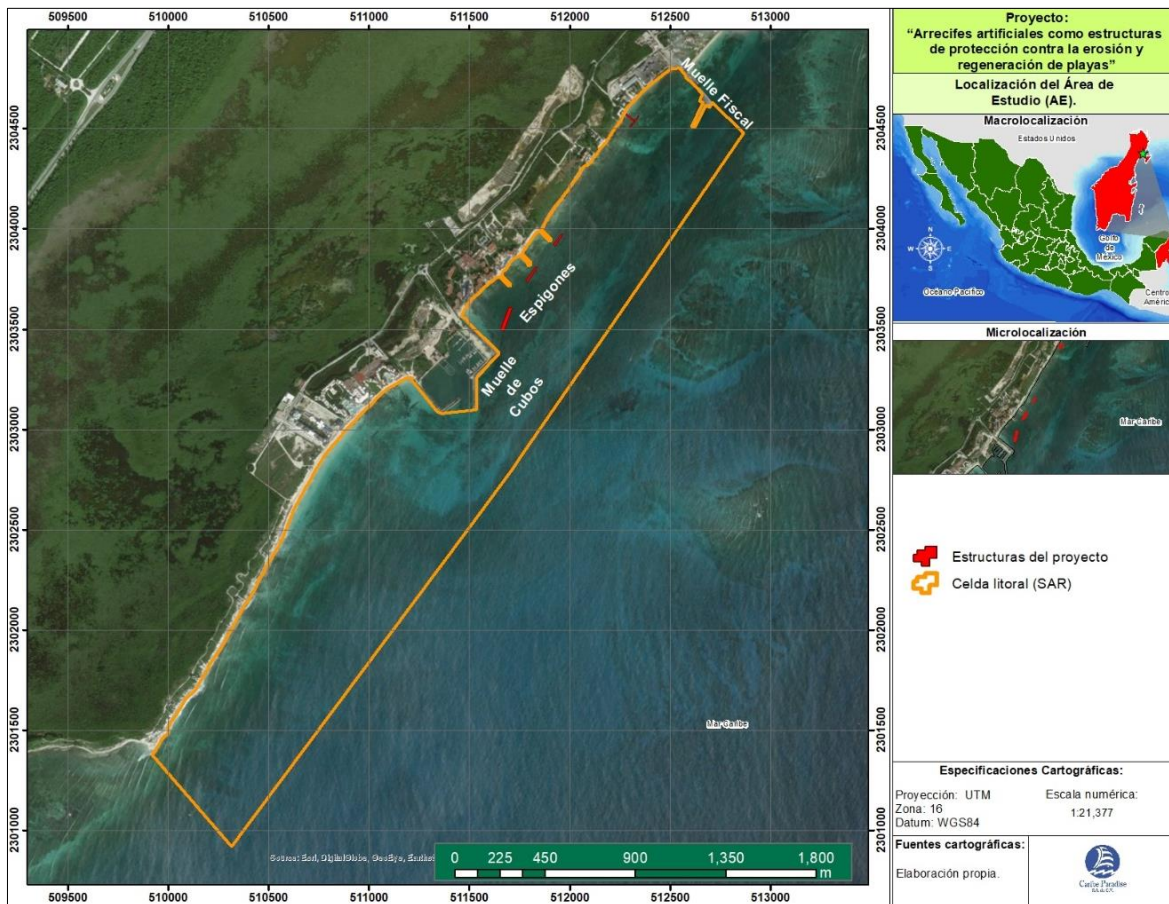
El presente proyecto se somete a evaluación en materia de impacto ambiental, ante la autoridad correspondiente, como parte de la Resolución administrativa emitida por PROFEPA oficio No. PFPC/4.1/2C.27.5/00004-18/015-19 (Anexo II.10), donde de acuerdo a estudios elaborados por la UNAM, se reconoce al Proyecto, como la forma más *ad hoc* de restauración del sitio afectado por la instalación de tres espigones, instalados en respuesta a las afectaciones generadas por el Huracán Willma en el año de 2005, tal y como consta en actas de la PROFEPA.

### **II.1 Información general del proyecto**

#### **II.1.1 Introducción**

El proyecto "**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**", se ubica en el mar Caribe y el proyecto al cual se asocia, se localiza en el Municipio de Puerto Morelos, estado de Quintana Roo. El Área de Estudio, donde se desarrollará el proyecto, está comprendida en una celda litoral o celda costera (*i.e.*, unidad básica que divide el litoral, en el cual existen entradas y salidas de sedimentos, cuyo aporte ocurre ya sea por factores naturales o por actividades humanas, como los rellenos y dragados; Anfuso 2004, AMIP S/F), cuya superficie es de 267.37 hectáreas. En el Capítulo IV de la presente MIA-R, se describe a detalle la delimitación de la celda litoral del proyecto.

# PROYECTO: "Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas"



**Figura 1.** Área de Estudio del proyecto "Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas".

La zona litoral del estado de Quintana Roo es propensa a sufrir erosión costera y sus causas son tanto naturales (interacción de procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera) como antrópicas (ocupación de la duna litoral por parte de particulares, construcción desordenada de obras de protección) (Guido *et al.* 2009).

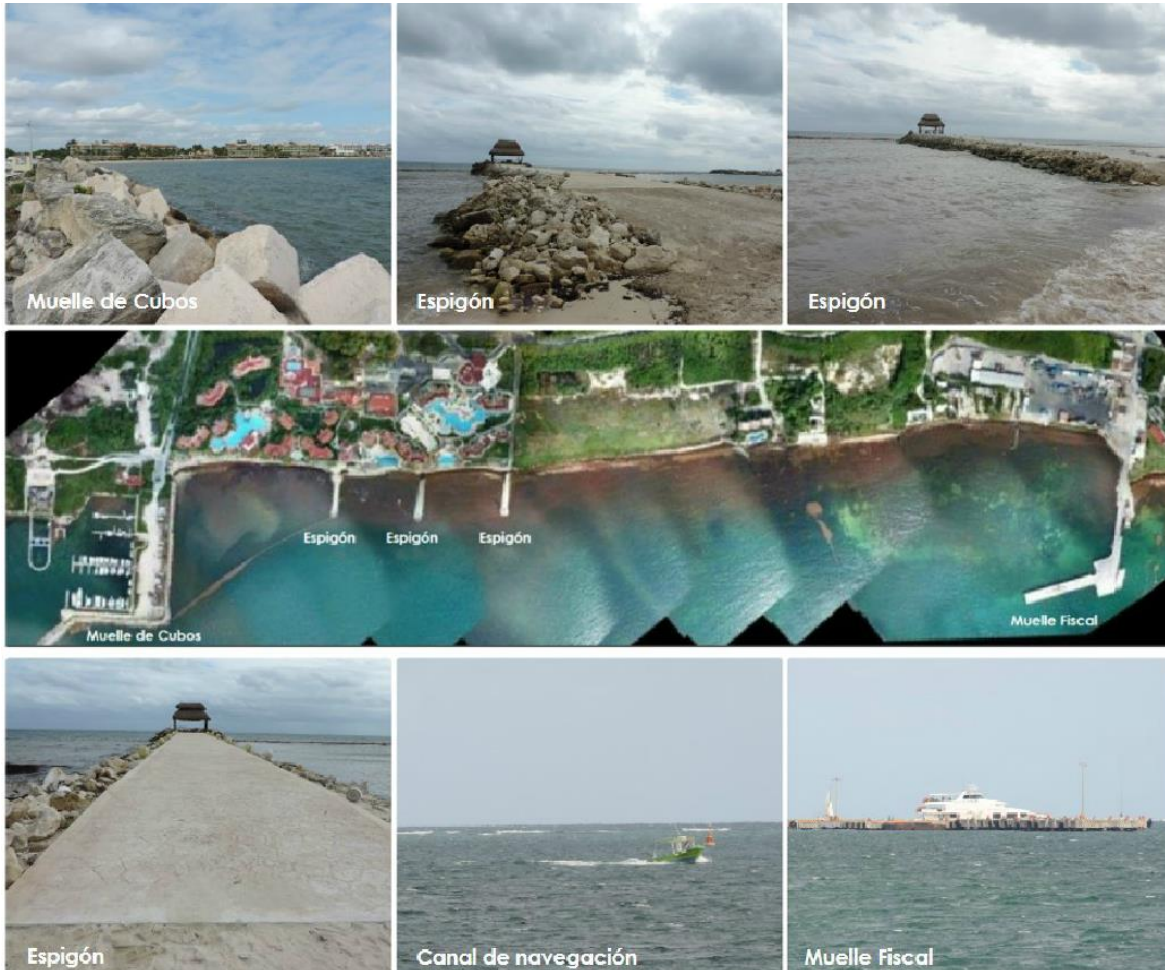
De manera específica, la Zona Federal Marítimo Terrestres adyacente a la celda litoral, donde se encuentra el proyecto, se ha visto deteriorada con el paso del tiempo. Esta erosión costera ha sido provocada principalmente por: 1) la construcción y modernización del Muelle Fiscal (década 60's y 70's siglo pasado); 2) la ampliación del canal de navegación (década 70's siglo pasado); 3) la construcción del Puerto de pescadores (década 80's siglo pasado), el cual fue





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

dañado por el huracán Gilberto (1988), quedando únicamente el espigón conocido como Muelle de Cubos; y, 4) la construcción de tres espigones de entre 45 y 52 m de largo, instalados con la intención de favorecer la estabilidad de la playa.



**Figura 2.** Construcciones realizadas en la celda litoral (década de los 60's del siglo pasado a fechas recientes) (fotografías arriba y abajo; C. Delgado), las cuales produjeron un área de afectación (fotografía aérea en medio; E. Díaz).

Como consecuencia de estas actividades, se observó que la construcción del Muelle Fiscal, perpendicular a la línea de costa, intersecó y provocó la deposición de arena (acreción) hacia el norte de la misma, mientras que al sur causó una erosión pronunciada, la cual se ha ido agravando a lo largo de los años.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”


---

Asimismo, los espigones modifican el patrón natural de las corrientes marinas y retienen el transporte de sedimentos interrumpiendo el balance y la distribución natural y acentuando el déficit en las zonas de playa que quedan entre ellos y justo al lado del Muelle de Cubos. De esta manera, los espigones afectan de manera adversa el medio circundante donde se localizan, sobre todo en su incidencia sobre la dinámica litoral; la interrupción de esta dinámica provoca fenómenos de subsaturación causando erosión de la playa de manera discontinua, así como la pérdida de la compactación y variación de la pendiente de la misma; además, conllevan a disminuir el arrastre de materiales por su incidencia en el oleaje, con lo que se provoca una inestabilidad de la playa. Con la disminución de las corrientes, se generó la acumulación de suciedad y bacterias, consecuencia de la poca renovación del agua, además de que se evita el efecto de la regulación térmica en la superficie costera. Así, los espigones, pensados originalmente como medida para disminuir los efectos causados por Willma (2005), así como para favorecer la estabilidad de la playa, están deteriorándola, en lugar de mantenerla saludable.

La presencia del Muelle de Cubos contribuye en la interrupción de las corrientes y los flujos de arena, tanto de sur a norte como de norte a sur, produce el aislamiento de un segmento de 1,680 metros lineales del litoral formando una celda de afectación.

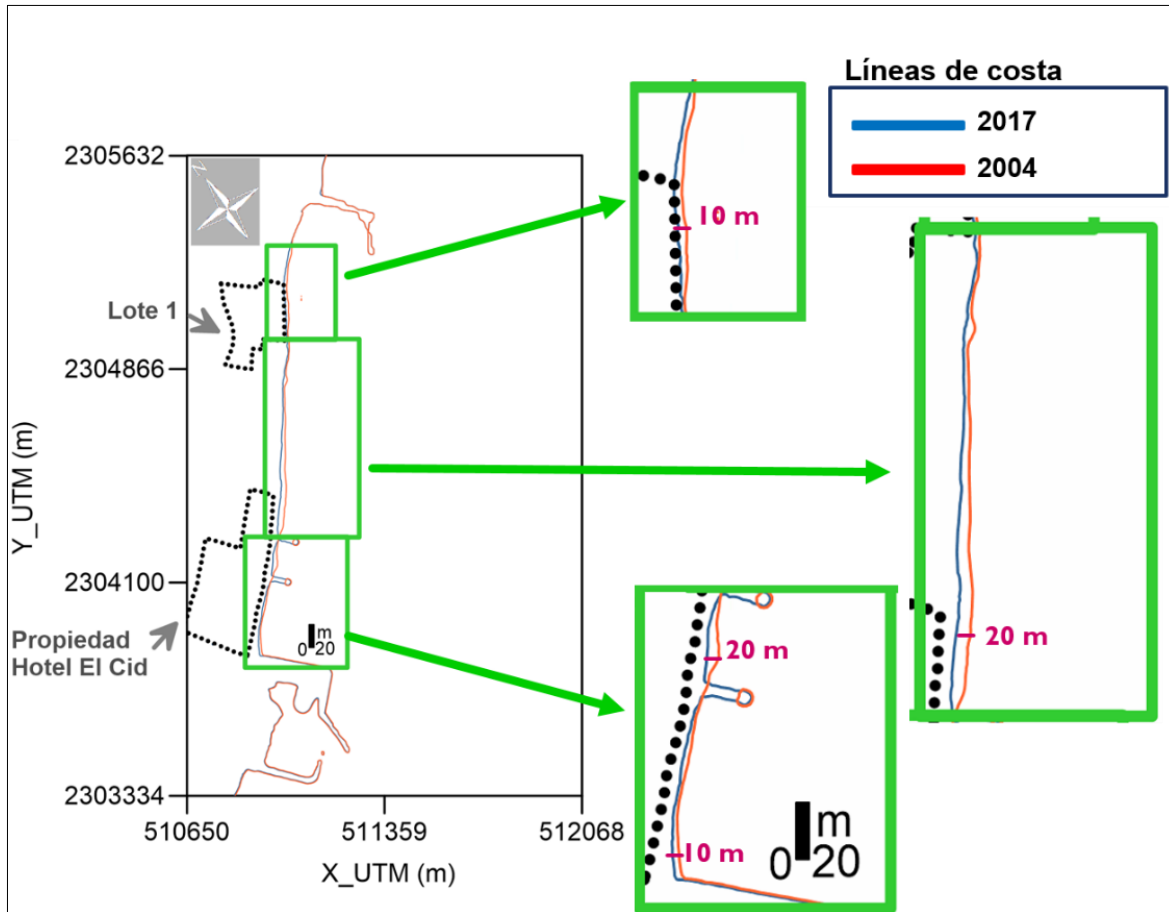
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 3.** Arriba: erosión y acreción de la playa. Abajo: espigones a ser modificados. Asimismo, con el fin de determinar las tasas de erosión/acreción de la línea de costa que engloba la zona del proyecto comprendida entre el Muelle Fiscal y la Marina, se realizó un análisis de la evolución de línea litoral en el periodo comprendido del 29 de septiembre de 2004 al 9 de enero de 2017. **La comparación resultante entre las líneas de costa** correspondientes a la fecha inicial y final del  TEO CONSULTORÍA AMBIENTAL, S.C. Capítulo II, Página 8



periodo de análisis, **demonstró un retroceso en prácticamente toda el área**, salvo en pocas áreas de la zona norte de la región (Anexo II.1).



**Figura 4.** Comparación de las líneas de costa de 2004 y 2017: detalle en zona del Proyecto (Anexo II.1).

### II.1.2 Justificación

En vista de los impactos negativos que han producido las construcciones realizadas en la celda litoral del proyecto (e.g., formación de una celda de afectación, deflexión de la corriente litoral, modificación de la dinámica de sedimentos, así como erosión continuada en la mayor parte de la línea de costa adyacente a la celda litoral), es de gran importancia desarrollar una serie de obras y actividades para proteger la zona costera objeto del presente proyecto. Esto puede responder a una necesidad ambiental, social y económica al mejorar el paisaje, la dinámica



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

de sedimentos, el flujo de la corriente litoral y la recuperación de playa, que a su vez permitirá un aumento de turistas, y, en consecuencia, mayores ingresos económicos. En este contexto, se realizaron estudios técnicos para determinar los mejores sitios receptores de **arrecifes artificiales** (o bien, estructuras de protección costera), con la finalidad de aumentar la factibilidad y efectividad de la protección costera.

### II.1.3 Objetivos

#### General

El proyecto "**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**", tiene como principal objetivo frenar las afectaciones en el litoral por efecto de las diferentes estructuras localizadas en el área (Muelle Fiscal, Muelle de Cubos, espigones), así como rehabilitar la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, para que cumpla sus funciones ambientales, sociales y económicas.

#### Particulares

- Construir cuatro **arrecifes artificiales** como estructuras de protección costera.
- Sustituir las estructuras impermeables por andadores piloteados.
- Regenerar el ancho de playa seca.

### II.1.4 Naturaleza del proyecto

El proyecto "**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**", consiste en la: 1) Construcción de cuatro arrecifes artificiales (o bien, estructuras de protección costera) en la zona marina. Con estas estructuras se espera reducir la erosión que existe entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos (celda de afectación), además de proteger a la playa por su función como dissipador de la energía del oleaje al incidir sobre la misma (Anexo II.1). 2) Regenerar el ancho de playa seca (relleno de playa; Anexo II.1 y II.1.2) a 10 m frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales; y 3) Sustitución de las estructuras



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

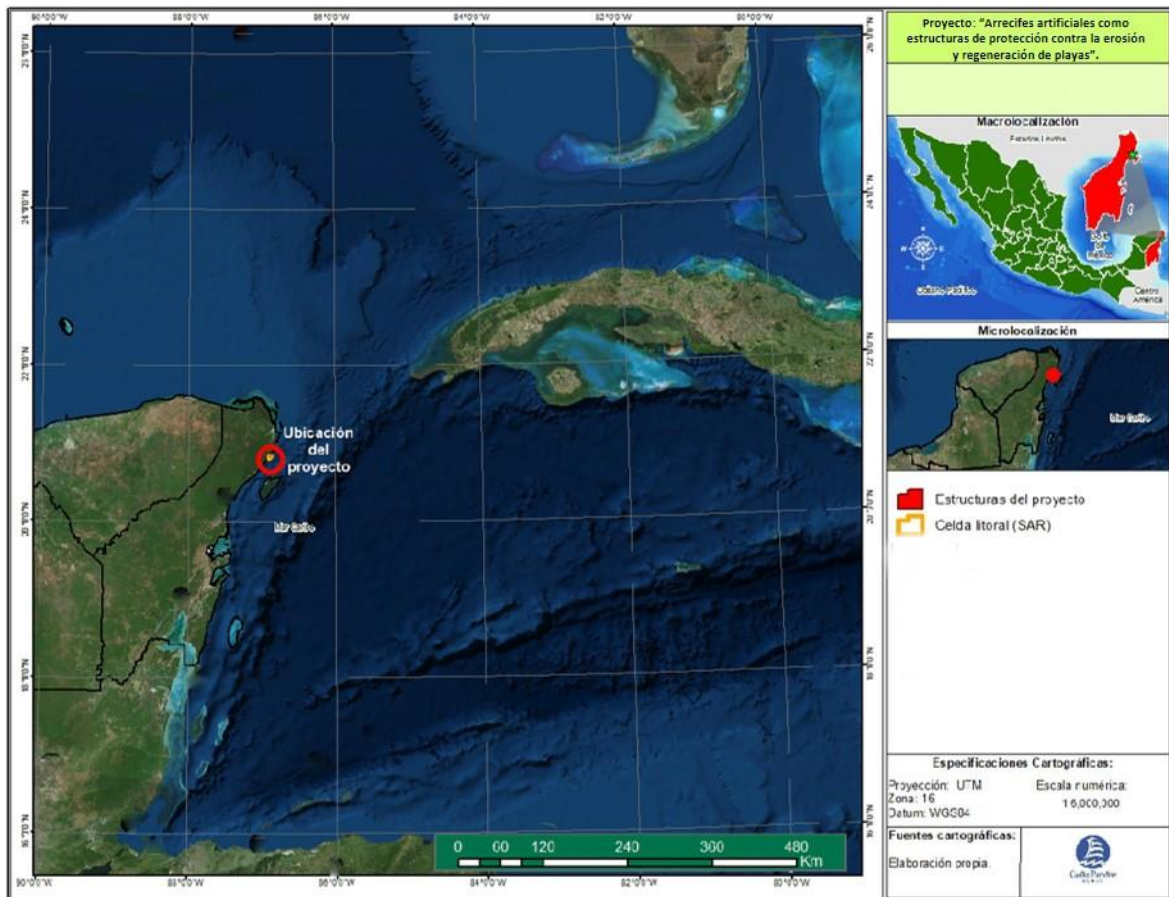
impermeables rígidas, colocados en la zona marina frente al hotel asociado al proyecto, por andadores piloteados de madera, con la finalidad de permitir el paso tanto de agua como de sedimentos.

Por las características del proyecto antes mencionadas, este constituye “Un conjunto de proyectos de obras y actividades que pretenden realizarse en una región ecológica determinada” (Art. 11, Fracción III, RLGEEPA). Este proyecto no forma parte de un plan o programa de desarrollo. De igual forma, este proyecto se inscribe en el sector turismo, dado que constituyen obras y actividades para mejorar el entorno donde se desarrollan actividades turísticas, “actividades que realizan las personas durante sus viajes por un periodo de tiempo consecutivo inferior a un año, con fines de ocio, y otros motivos no relacionados con el ejercicio de una actividad remunerada en el lugar visitado” (SECTUR 2019).

### II.1.5 Ubicación física

El proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, se localiza en la zona marina frente al municipio de Puerto Morelos al noreste del estado de Quintana Roo, en el corredor turístico Cancún-Tulum, mejor conocido como La Riviera Maya.

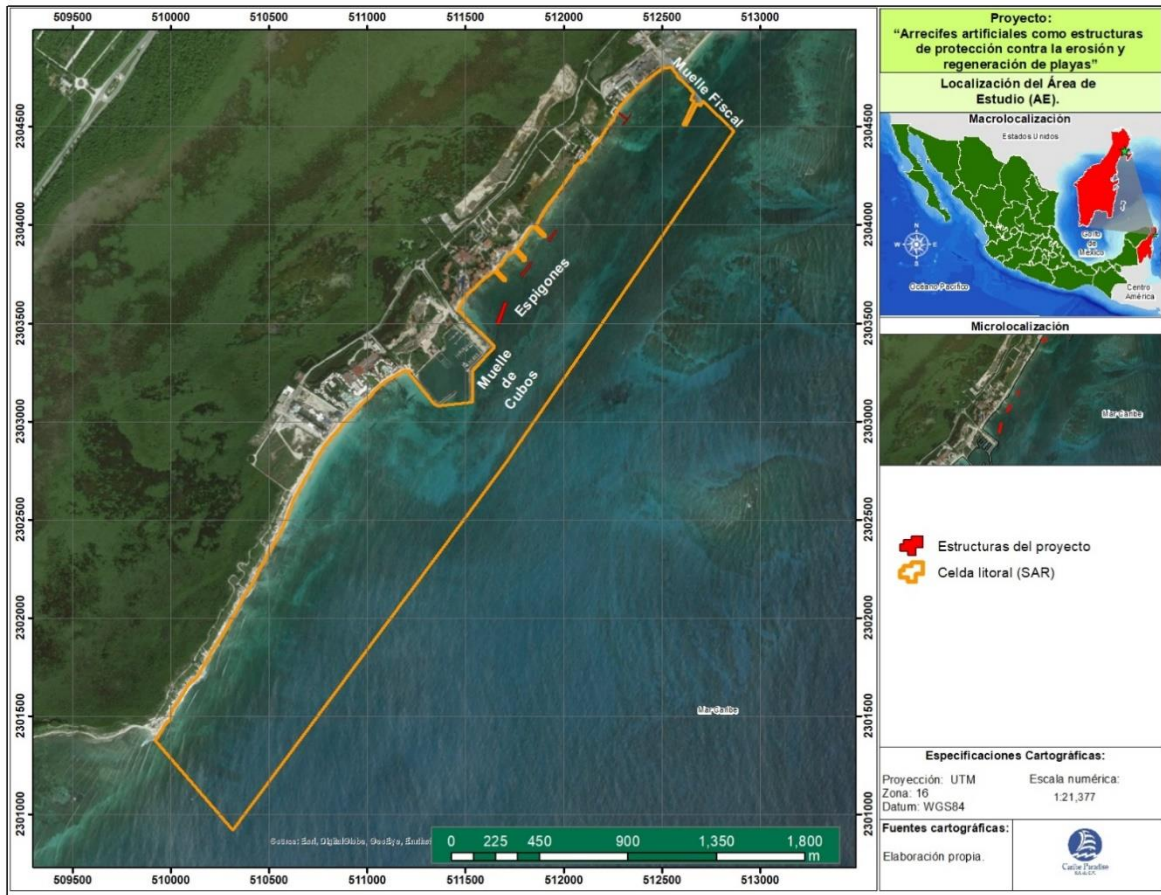
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 5.** Macrolocalización del proyecto "Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas".

El Área de Estudio, donde se encuentra incluido el proyecto, se localiza a 26 km de Cancún, a 27 km de Playa del Carmen y a 2.2 km de la carretera Cancún-Tulum (Carretera Federal 307) y tiene una superficie de 267.37 hectáreas.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 6.** Microlocalización del Área del Estudio, donde se encuentra incluido el proyecto.

A continuación, se incluye una descripción de la ubicación de los cuatro arrecifes artificiales (estructuras de protección costera), el relleno de playa y los espigones que se pretenden sustituir.

Para encontrar la ubicación óptima de los cuatro **arrecifes artificiales** (o estructuras de protección costera), se realizó un estudio técnico, que modeló diversas opciones de ubicación desde el punto de vista oceanográfico, posteriormente estas se compararon con las comunidades bióticas en el sitio, eligiendo la modelación que resultó en un sitio que funciona para la protección y regeneración de la playa y que carece de comunidades bióticas relevantes quedando establecidas las coordenadas óptimas y definitivas de localización. Las



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

coordenadas de los puntos extremos de las estructuras se incluyen en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Coordenadas de ubicación de los arrecifes artificiales (o bien, estructuras de protección costera).

Estructuras	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
E1	1	512342.82	2304565.52
	2	512348.23	2304561.25
	3	512304.91	2304506.26
	4	512299.49	2304510.53
	5	512323.29	2304540.73
	6	512319.01	2304535.31
	7	512279.74	2304566.26
	8	512284.01	2304571.68
E2	1	511962.46	2303977.23
	2	511968.87	2303972.61
	3	511927.96	2303915.81
	4	511921.55	2303920.43
E3	1	511826.82	2303803.21
	2	511834.48	2303797.94
	3	511783.39	2303723.84
	4	511775.73	2303729.12
E4	1	511696.68	2303614.6
	2	511712.05	2303608.9
	3	511670.23	2303496.4
	4	511654.87	2303502.1

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones y profundidad de las estructuras de protección costera propuestas.

**Tabla 2.** Parámetros de diseño en planta de los arrecifes artificiales (o bien, estructuras de protección costera).

Estructura	Profundidad de los extremos en el eje de la estructura (m)	Distancia desde la costa al eje de la estructura (m)	Longitud (m)
E1	1.5	53	70 (tramo paralelo a costa)





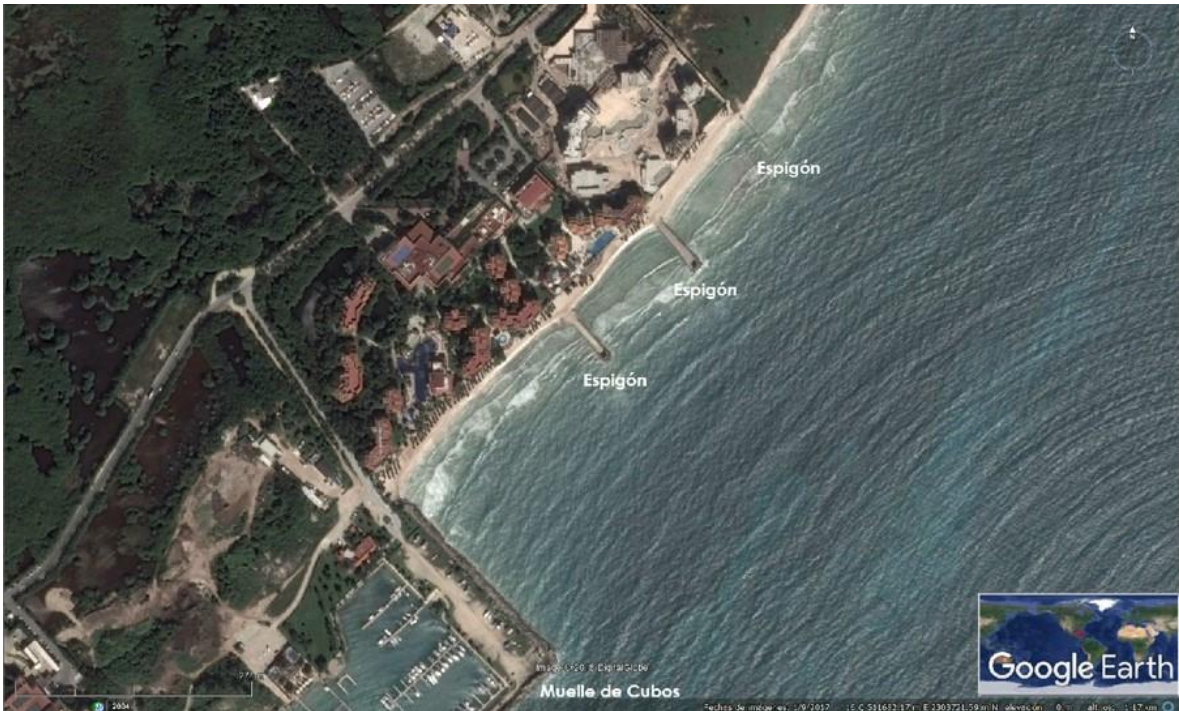
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Estructura	Profundidad de los extremos en el eje de la estructura (m)	Distancia desde la costa al eje de la estructura (m)	Longitud (m)
	0 – 1.5	-	50 (tramo perpendicular a costa)
<b>E2</b>	1.8	101	70
<b>E3</b>	1.7 - 2.2	110	90
<b>E4</b>	3.1 – 3.9	176 (centro de eje) Mínima y máxima (152 – 202)	120

Con respecto a las estructuras impermeables que se pretenden sustituir por andadores piloteados se encuentran ubicados en la zona marina del hotel al que está asociado el proyecto. A continuación, se incluyen las coordenadas extremas de los espigones a sustituir.

**Tabla 3.** Coordenadas de ubicación de los espigones a sustituir.

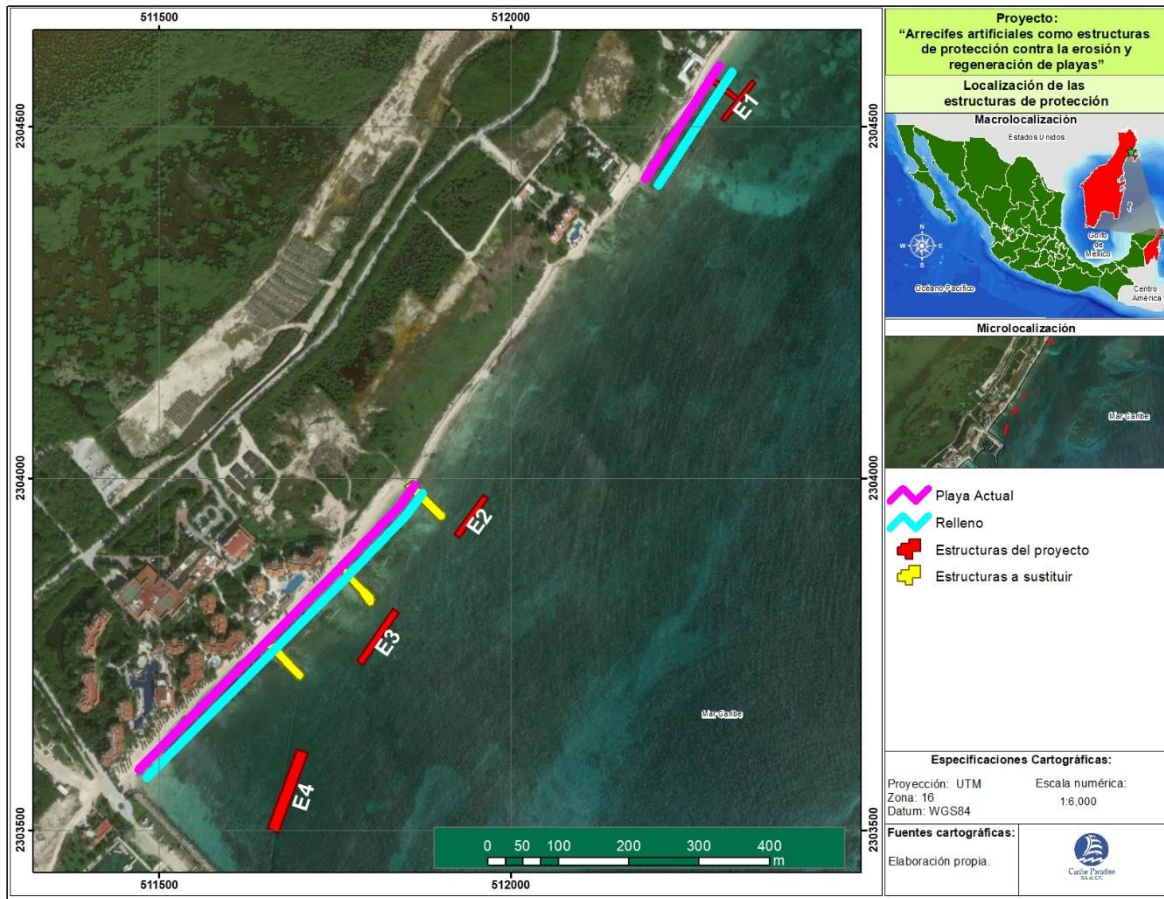
Espigones	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
<b>Espigón 1</b>	1	511696	2303720
	2	511653	2303771
<b>Espigón 2</b>	1	511792	2303829
	2	511754	2303869
<b>Espigón 3</b>	1	511877	2303964
	2	511846	2303990



**Figura 7.** Ubicación de los tres espigones que se pretenden sustituir por tres andadores piloteados. Fuente: Google Earth (2017).

Finalmente, la regeneración del ancho de playa seca, se pretende aumentar a 10 m la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales. A continuación, se presenta una figura que muestra los sitios de pretendida ubicación de las estructuras de protección costera y regeneración de playa.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 8.** Localización de los cuatro arrecifes artificiales (o bien, estructuras de protección costera) y regeneración de playa.

### II.1.6 Inversión requerida

La inversión total requerida para ejecutar las tres fases del proyecto **“Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**, será de \$24,139,129.00 pesos (veinticuatro millones ciento treinta y nueve mil ciento veintinueve /100 M.N.). La inversión es 100% de capital privado.

El monto de recursos económicos que se considera para la implementación de las medidas de prevención, mitigación y recuperación ambiental que el presente proyecto estima es aproximadamente un 10% (\$2,400,000.00; dos millones cuatrocientos mil pesos 00/100 M.N.) del monto total de la inversión.





### II.2 Características particulares del proyecto

#### II.2.1 Programa de trabajo

El proyecto "**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**", comprende la: 1) instalación de cuatro arrecifes artificiales (estructuras de protección costera), 2) sustitución de tres estructuras rígidas (espigones) por tres andadores piloteados y 3) regeneración de playa. La realización de este proyecto se estima en un periodo total de 109 semanas (25 meses). La vida útil del proyecto, con su correspondiente mantenimiento y adecuaciones necesarias será de 90 años.

A continuación, se presente el programa general de trabajo considerando las tres fases del proyecto: 1) Preparación del sitio (**amarillo**), 2) Construcción (**verde**) y, 3) Operación y mantenimiento (**azul**). El programa es indicativo y aproximado; sin embargo, se hicieron las estimaciones de tiempo tratando de apegarse a tiempos reales en la medida de lo posible.

Como se puede observar en la siguiente tabla, en algunas semanas ocurren dos o tres fases del proyecto (tres **colores**) al mismo tiempo, ya que se estarán llevando a cabo obras o actividades de manera simultánea, con el fin de terminar el trabajo en el menor tiempo posible.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 4.** Programa General de Trabajo.

OBRAS Y ACTIVIDADES	MESES																									AÑO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	99
Rescate y reubicación de fauna	■				■			■				■														
Colocación de geomalla		■				■			■				■									■	■	■		
Transporte de piezas		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
Colocación de piezas		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
Monitoreo de arrecifes artificiales					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Señalización de arrecifes artificiales				■			■					■			■											
Reacomodo de piezas					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Arrecifes artificiales (vida útil)					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Retiro de material de espigones												■			■			■								
Hincado de pilotes													■			■			■			■				
Instalación del andador														■			■			■			■			
Monitoreo del área liberada															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Andadores piloteados (vida útil)															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Traslación de la arena																						■	■	■	■	■
Vertido y acomodo de arena																							■	■	■	■
Monitoreo de playa																							■			■
Playa rehabilitada (vida útil)																									■	■
<b>ETAPA</b>	<b>PREPARACIÓN DEL SITIO</b>							<b>CONSTRUCCIÓN</b>							<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>											

## II.2.2 Representación gráfica regional

El proyecto se realizará en la zona marina frente al municipio de Puerto Morelos, al noroeste del estado de Quintana Roo, a 36.59 km de Cancún, a 29.75 km de Playa del Carmen y a 2.21 km de la carretera Cancún-Tulum (Carretera Federal 307).

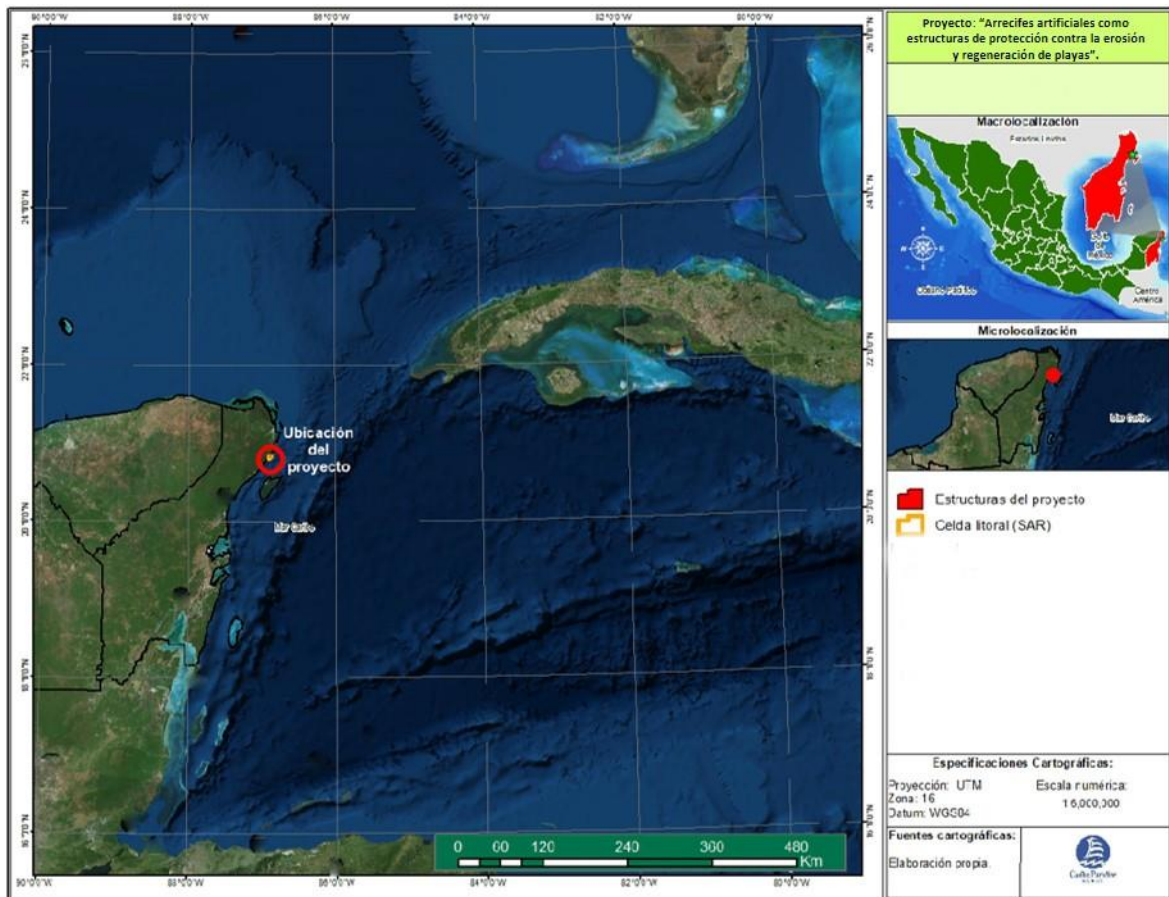


Figura 9. Representación gráfica regional.

## II.2.3 Representación gráfica local

El proyecto se llevará a cabo en la zona marina y playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales. La infraestructura turística (hotel), al que está asociado el proyecto está delimitada al suroeste por la Marina El Cid, al oeste por la Avenida Niños Héroes; así mismo al noroeste con el lote 9, mientras que al este se encuentra el Mar Caribe. Con respecto al Lote 1, se ubican al suroeste las Caribbean Reef

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Villas Puerto Morelos, al noroeste la Avenida Niños Héroes, al norte se localizan instalaciones privadas y al este se ubica el Mar Caribe.

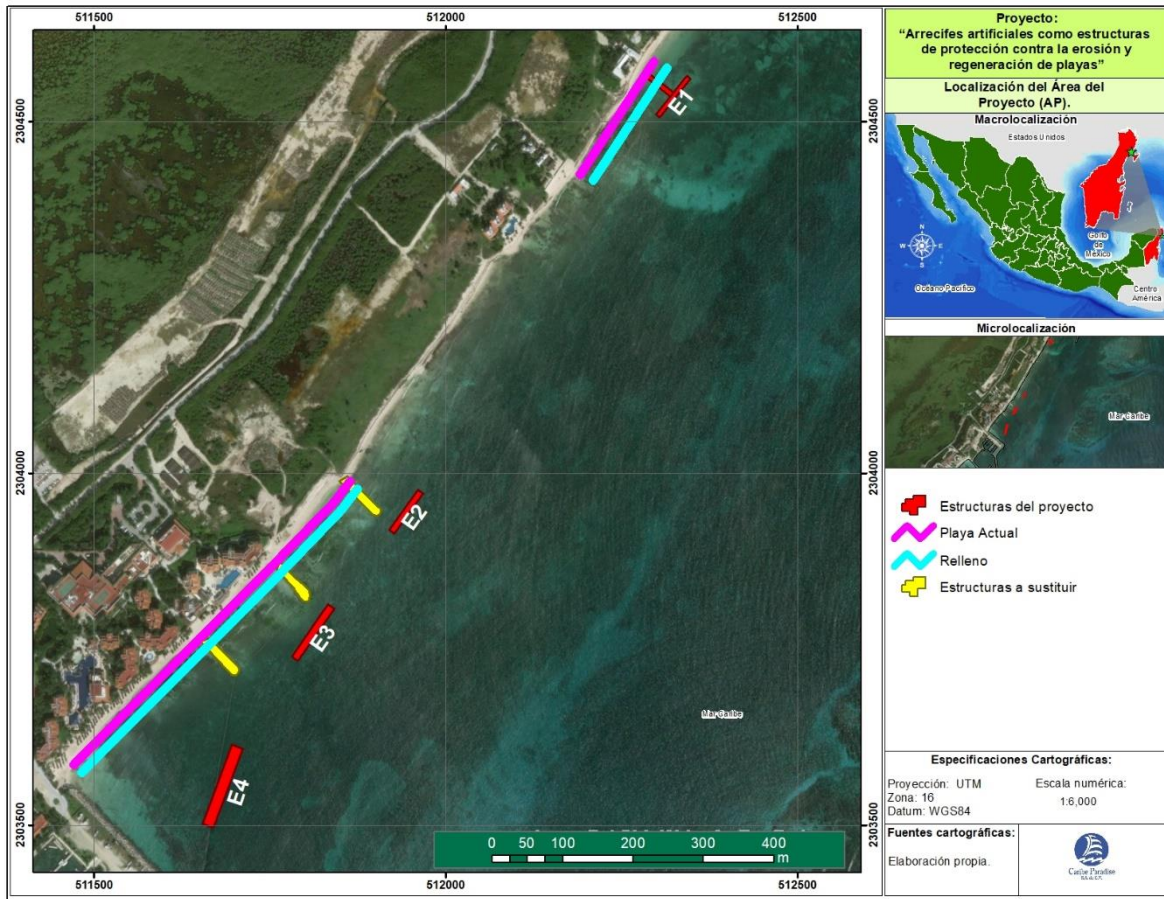


**Figura 10.** Representación gráfica local (fotografías aéreas, tomadas con dron). El color rojizo en la línea de costa, se debe a la presencia de sargazo.

A continuación, se muestra la distribución de las obras del proyecto.



# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 11.** Ubicación de las obras del proyecto.

## II.2.4 Preparación del sitio y construcción

### II.2.4.1 Preparación del sitio

En el presente apartado se describen las obras y actividades a desarrollarse en la etapa de preparación del sitio, las cuales, como se mencionó en el Programa General de Trabajo son: colocación de geomalla, rescate y reubicación de fauna.

#### II.2.4.1.1 Rescate y reubicación de fauna

Se realizarán actividades de rescate y reubicación de fauna marina en los sitios de pretendida ubicación de las estructuras de protección costera y de ser necesario en las estructuras permeables que van a ser sustituidas. Para ello, en primer lugar,

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

se delimitará la superficie a trabajar; En segundo lugar, se formará una brigada de especialistas para llevar a cabo el rescate de la fauna marina, posteriormente, se informará al responsable ambiental del avistamiento de fauna marina que pudiera aparecer durante la instalación de las piezas que conforman los arrecifes artificiales, para que se realicen las labores de rescate y se reubiquen los organismos en los sitios designados.

Se considera que el rescate y reubicación de fauna marina, tenga una duración máxima aproximada de una semana y se ejecutará previo a la instalación de cada una de las estructuras de protección costera.

### II.2.4.1.2 Colocación de geomalla o malla geotextil

Previo a la construcción de las estructuras de protección costera, sustitución de los espigones por andadores piloteados y regeneración de playa, se colocará una geomalla en los sitios de trabajo, para evitar la dispersión de sedimentos. Se considera que la colocación de la geomalla tenga una duración total aproximada de siete meses. Se espera utilizar aproximadamente 300 m de malla, para lo cual se utilizarán boyas tipo marino modelo A-3 para su flotación. Posteriormente, se sujetarán al fondo marino, con pesos muertos de piedra de 10 kg a cada 10 m. La geomalla se mantendrá al término de la etapa constructiva.

### II.2.4.2 Construcción

#### II.2.4.2.1 Arrecifes artificiales

Para la construcción de los arrecifes artificiales (estructuras de protección costera), en primer lugar, el promovente hará la adquisición del material del que estarán formadas las estructuras, que, en este caso, constituyen **piezas** de roca caliza de la región.

Dado que en el ambiente marino es muy importante la estabilidad de cada una de las piezas que compondrá la estructura de protección costera (dique o arrecife artificial), se debe establecer el diámetro nominal apropiado de cada pieza para garantizar la estabilidad de las estructuras. El diámetro nominal se obtiene del cálculo de estabilidad de las piezas en los diques en talud. Para ello, se utiliza la

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

metodología propuesta por Vidal *et al.* (1992) para construcción de diques convencionales en talud a volteo.

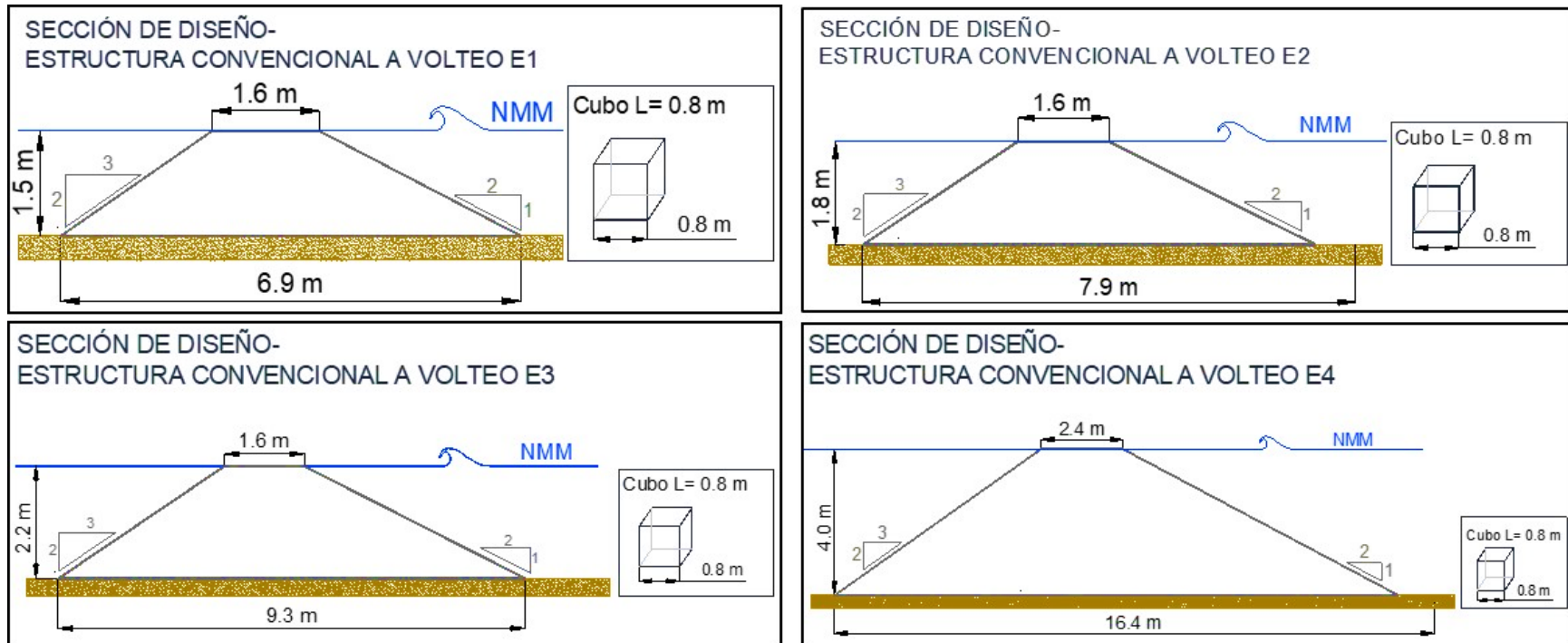
Vidal *et al.* (1992) ofrece un tamaño de pieza adecuado para garantizar su estabilidad en las distintas partes que componen el dique en talud (talud exterior, coronación, talud interior y morro), de acuerdo con las características del oleaje y francobordo de la estructura. En la tabla siguiente se incluyen los resultados de la aplicación de esta metodología para estructuras coronadas a nivel medio del mar y densidad de 2.09 t/m<sup>3</sup> de la roca caliza que se plantea utilizar. El tamaño de pieza limitante que resulta tiene un diámetro nominal de 0.8 m.

**Tabla 5.** Análisis de estabilidad de las estructuras (Vidal *et al.* 1992).

Estructura	Altura (m)	Altura ola diseño (m)	Periodo oleaje diseño (s)	$\Delta$ NMM	h (m)+ $\Delta$ NMM	Dn50 (m) Talud exterior	Dn50 (m) Coronación	Dn50 (m) Talud interior	Dn50 (m) Morro
E1	1.5	2	12	1	2.5	0.4	0.3	0.8	0.5
E2	1.8	2.2			2.8	0.5	0.3	0.7	0.5
E3	2.2	2.5			3.2	0.5	0.4	0.6	0.6
E4	4	3.9			5.0	0.7	0.7	0.7	0.8

De acuerdo con el diámetro nominal de las piezas requerido para garantizar la estabilidad de las estructuras, la figura siguiente muestra las secciones de diseño de las distintas estructuras, coronadas al nivel medio del mar (NMM) para cubos de arista de 0.8 m. Se colocarán dos hileras de cubos en la coronación de las estructuras situadas a menor profundidad (E1, E2 y E3) y tres en la estructura E4.

## PROYECTO: "Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas"



**Figura 12.** Sección de cada una de las estructuras convencionales a volteo.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Si se considera una porosidad de las estructuras de 0.4, se estima un total de 8,152 piezas requeridas para la construcción de las cuatro estructuras.

**Tabla 6.** Parámetros de diseño en sección. Estructura convencional a volteo (porosidad = 0.4) (Anexo II.3).

Estructura	Profundidad de extremos (m)	Longitud (m)	Nº de piezas por estructura	Longitud de arista de piezas (m)
E1	1.5	70 (paralelo a la costa)	523	0.8
	0 – 1.5	50 (perpendicular a costa)	374	
E2	1.8	70	702	
E3	1.7 - 2.2	90	1,265	
E4	3.1 – 3.9	120	5,288	
			<b>Nº total piezas</b>	<b>8,152 (L= 0.8 m)</b>

### II.2.4.2.1.1 Transporte de piezas

El transporte de las piezas se divide en terrestre y marino. El tiempo contemplado para el transporte de las piezas para la construcción de cada arrecife artificial será a la par de la colocación, para evitar su almacenamiento en grandes volúmenes. Se estima que el transporte de piezas para las 4 estructuras durará 14 meses. Dado que son cuatro estructuras de protección costera a construir el tiempo total estimado para el transporte (terrestre y marino) de piezas será de 14 meses, como se indica en el Programa General de Trabajo.

#### Transporte terrestre

El proveedor de las rocas realizará el transporte terrestre de las piezas del banco autorizado a la zona de maniobras aledaña a donde se construirán las estructuras de protección costera, que corresponde al brazo norte de la marina El Cid. El transporte terrestre de las piezas será con camiones de volteo de 20 toneladas (figura siguiente). El tiempo contemplado para el traslado terrestre de piezas es de siete semanas y media por cada estructura, por lo tanto, el tiempo total estimado

para el traslado terrestre es de **siete meses**, transportando cantidades adecuadas para evitar su acumulación innecesaria en el sitio.



**Figura 13.** Camiones de volteo de 20 toneladas para el transporte terrestre de piezas.

### Transporte marino

Una vez en la plataforma de carga ubicada en el brazo norte de la Marina El Cid, las piezas serán maniobradas de los camiones de volteo a las plataformas flotantes (barcazas) con una grúa tipo Northwest de 60 toneladas. Se trata de una grúa de cadenas con elevación de carga de 6.80 m de largo por 4.4 m de ancho y con una extensión de brazo de 17 m.



**Figura 14.** Ejemplo de grúa Northwest de 60 toneladas para el traslado de las piezas.

Las piezas serán colocadas en una plataforma flotante que servirá para el traslado marino de las piezas de 22 m largo por 9 m de ancho. Dicha plataforma estará compuesta de 9 secciones de flotadores de acero de 1/4 de espesor cuyas dimensiones serán 6.15 m de largo por 3 m de ancho y 1.5 metros de altura. Contará además con 3 flotadores de 3,5 m de largo por 3 metros de ancho y 1.5 metros de altura.

El esqueleto interior estará conformado por viga de 3" por 1/4" de espesor y refuerzos de ángulo de 2" por 1/4" de espesor. Tendrá un sistema de unión con tornillería de 1" por 3" de largo (6 puntos) y placas internas para tener un mejor refuerzo.

Para llevar a cabo el transporte marino de las piezas desde la plataforma se instalará un sistema de remolque con el uso de winches, cable de acero y cuatro bombas hidráulicas con admisión y escape de 3" para el sistema de lastre de la plataforma flotante. Para esto, se usará maquinaria (retroexcavadora) para el traslado del material y montaje del sistema, además de maniobras de movimiento de piedras de menor tamaño y consumibles de poco peso necesarios para la operación.



**Figura 15.** Ejemplo de winch hidráulico para el remolque de las piezas.

Asimismo, se utilizará maquinaria menor y equipo para el proceso de montaje de todo el sistema de operación, tales como taladro percutor, soldadoras, equipos de pulido, rectificadores, taladros magnéticos, entre otros. Las instalaciones eléctricas para el proceso de armado de la plataforma y la base de maniobra en la marina serán obtenidas de los servicios del hotel.

Cada arrecife artificial será construido de manera independiente. A continuación, se describe el proceso que será realizado para la conformación de cada uno de los arrecifes artificiales (estructuras de protección) **de acuerdo con el orden en que serán construidas** (Anexo II.4).

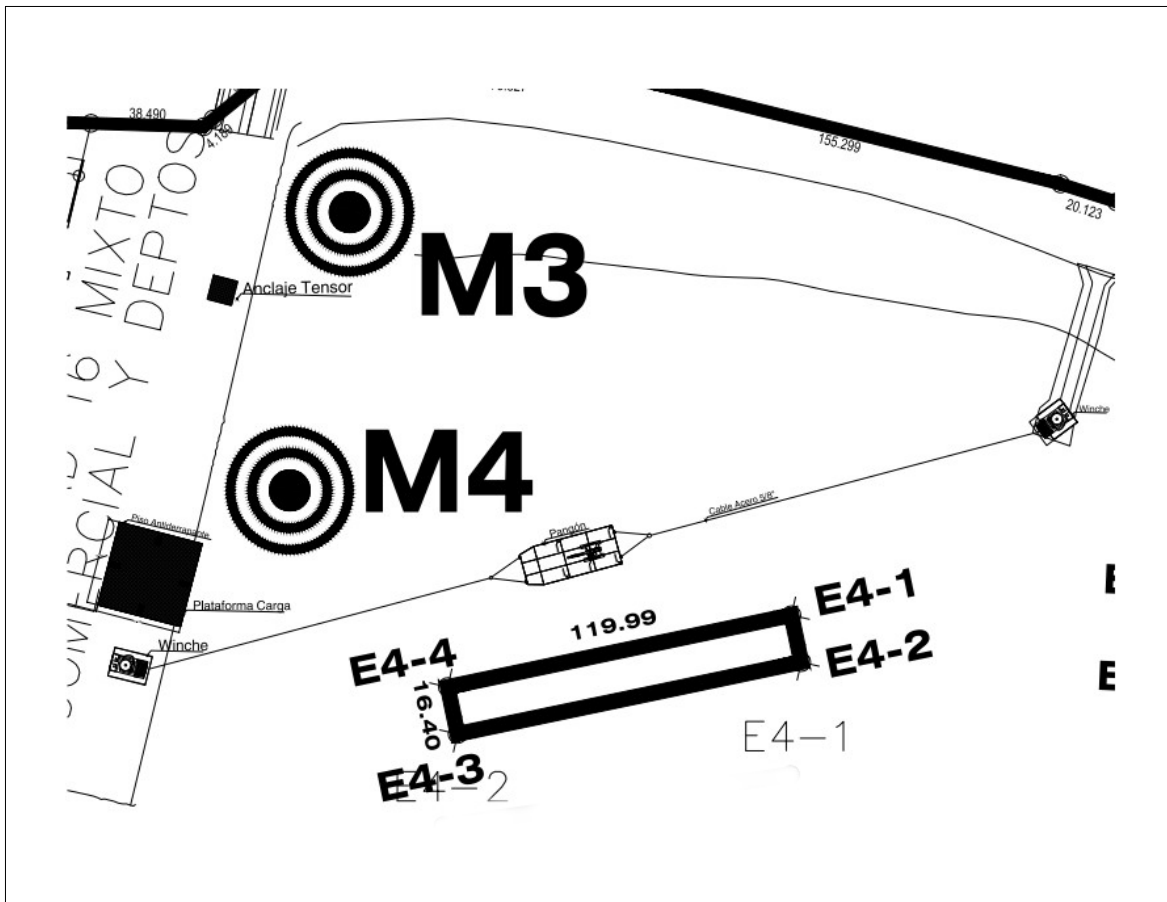
#### **Estructura 4**

Se instalarán dos winches, uno en la zona lateral de la plataforma de acceso de carga y descarga en la marina y el otro será ubicado en el extremo del espigón 1 (sur). El winch de la marina servirá para trasladar la plataforma flotante desde el punto de colocación de las piezas hasta la plataforma de carga, mientras que el winch del espigón 1 será usado para trasladar la plataforma flotante al sitio de colocación final de las piezas. Se instalarán dos puntos de amarre para la



plataforma para el final diario de operación.

Para la carga y descarga de las piezas desde la plataforma flotante hasta el punto final de colocación, se usará una grúa Northwest 60 ton o equipo auxiliar en su defecto. Una vez finalizada la construcción de la estructura 4, se desarmará el sistema para la construcción de la estructura 2.



**Figura 16.** Sistema de remolque con el uso de winches para la construcción de la estructura 4 (Anexo II.5).

### **Estructura 2**

Para llevar a cabo la construcción de la estructura 2, se colocará el winche en el espigón 3 (norte) direccionado hacia el sitio de colocación del rompeolas para la operación de carga y descarga desde el espigón. El abasto de las piezas será a través del acceso de las instalaciones del hotel asociado al proyecto y serán colocadas en el espigón. Con la grúa de 60 toneladas se irán colocando las piezas a la plataforma flotante. Con la acción de la grúa y con un muerto, se acercará la plataforma al punto de instalación de la estructura 2. Durante el proceso se dejará un amarre en la estructura 3 para poder realizar la construcción de la estructura 2.

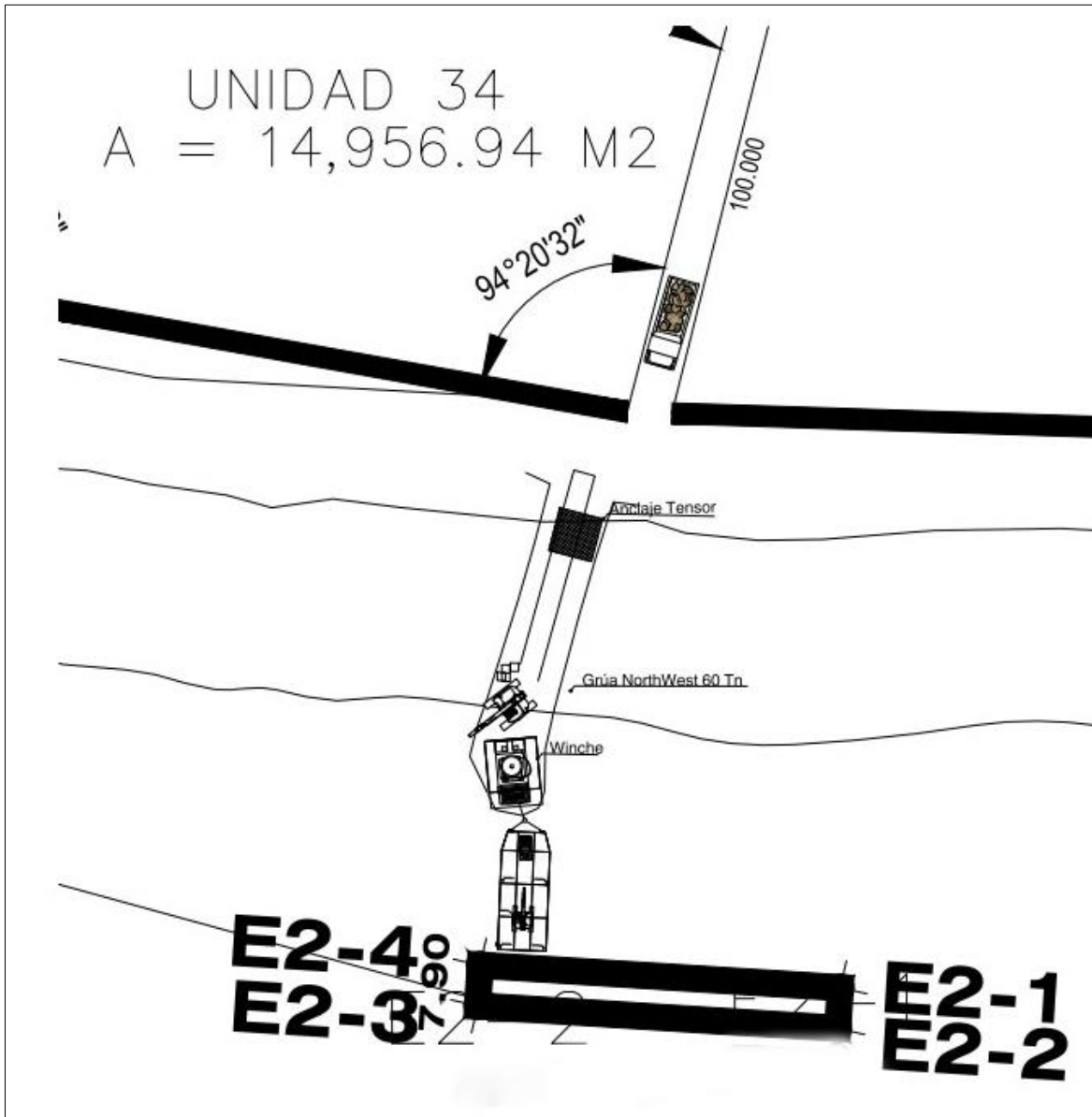
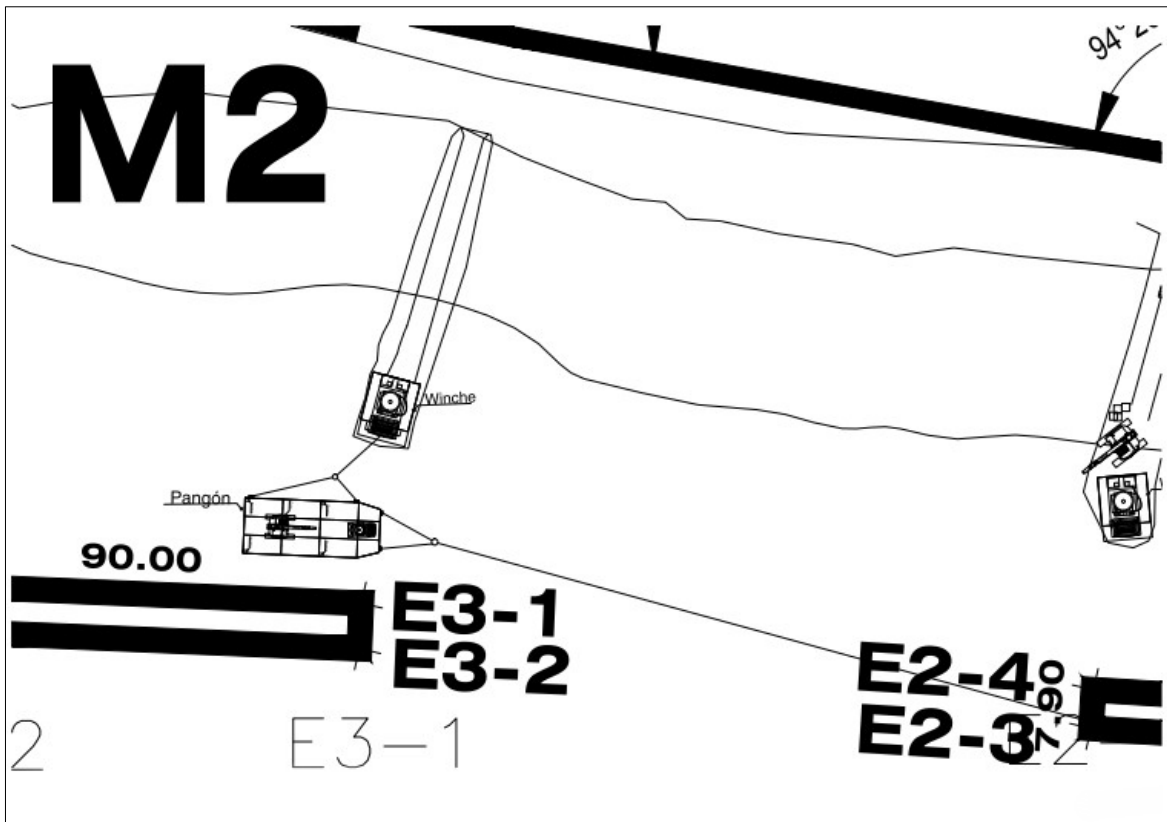


Figura 17. Sistema de remolque con el uso de winches para la construcción de la estructura 2 (Anexo II.6).



### Estructura 3

Para la construcción de la estructura 3, se instalará un winche en el espigón 2 (central) y otro sobre la plataforma flotante para poder dirigirse al punto de carga en el espigón 3 y poder trasladar la plataforma con el amarre dejado en la estructura 2. La carga y descarga de las piezas se realizarán de la misma manera que el proceso constructivo de la estructura 2 y se usarán los mismos puntos de amarre usados para esta última estructura.



**Figura 18.** Sistema de remolque con el uso de winches para la construcción de la estructura 3 (Anexo II.7).

### Estructura 1

La estructura 1 se ubica cerca de la playa por lo que las maniobras para su instalación serán distintas. En la zona de la playa donde se ubicará esta estructura existe una pasarela de acceso, a través de la cual accederá la grúa de 25

toneladas, la cual contará con una pala almeja con la que se irán colocando las piezas desde la pasarela hasta la ubicación final. Cabe mencionar que otra opción será colocar la grúa sobre una plataforma para colocar las piezas. Las piezas podrán ser trasladadas hasta la plataforma en camiones o maquinaria menor.



**Figura 19.** Ejemplo de pala almeja que podrá ser usada para la colocación de las piezas.

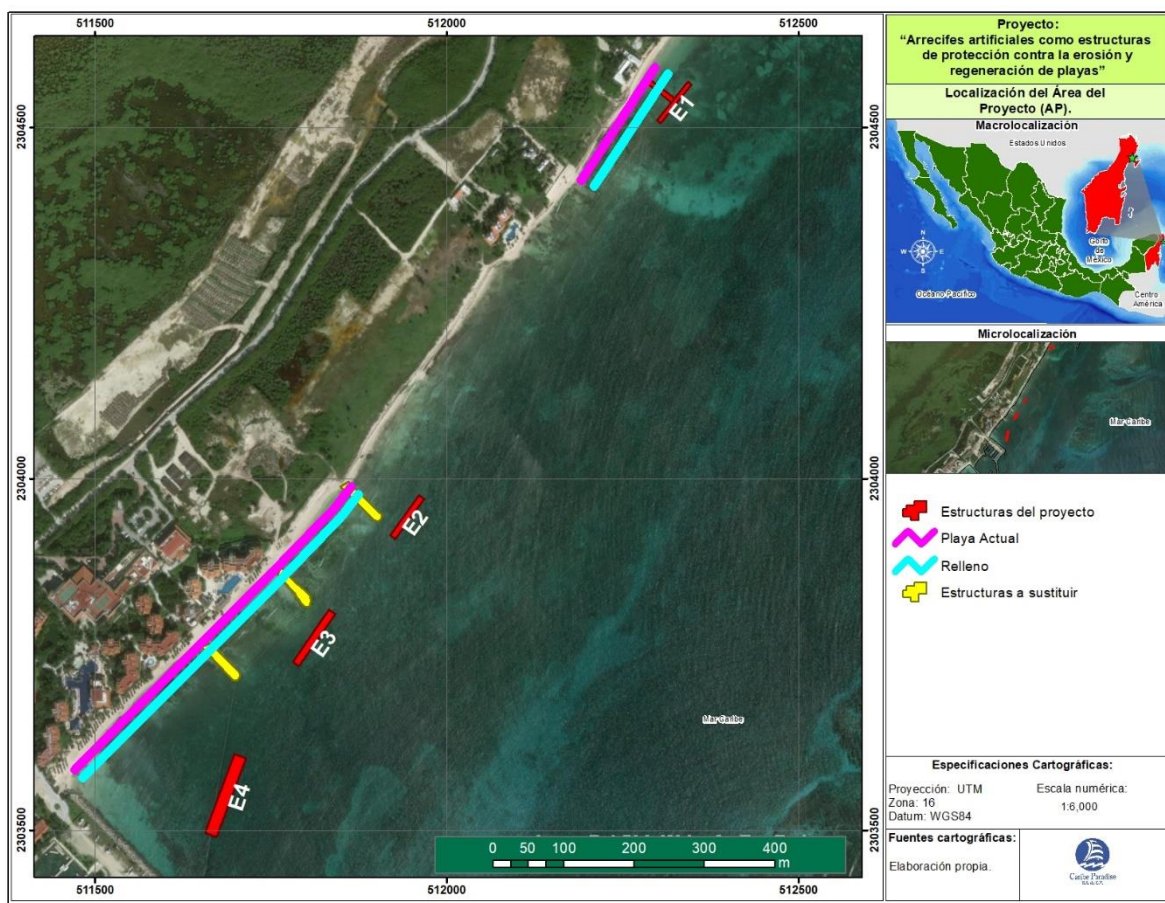
El tiempo contemplado para el traslado marino de piezas es de siete semanas y media por estructura, por lo tanto, el tiempo total dedicado al traslado marino será de **siete meses**.

### II.2.4.2.1.2 Colocación de piezas

La colocación de los cuatro arrecifes artificiales que funcionan como estructuras de protección costera tiene como objetivo reducir el efecto de obstáculo abrupto en la forma de la línea de costa y la discontinuidad al transporte longitudinal de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

sedimentos que supone la localización de la marina. Tres de los arrecifes artificiales (estructuras) tienen una forma rectilínea (estructuras E2, E3 y E4), mientras que la estructura (E1) se dispone en forma de 'T', con la finalidad de reducir la llegada de sedimento a la región del Muelle Fiscal, en el límite norte, (favoreciendo así las operaciones de entrada y salida de embarcaciones al Muelle Fiscal), además de proteger a la playa, por su función como disipador de la energía del oleaje al incidir sobre la misma.



**Figura 20.** Localización de arrecifes artificiales (rojo), o estructuras de protección costeras.

Siguiendo el proceso de construcción de cada uno de los arrecifes (estructuras) programados antes descritos, se asegura la colocación de cada pieza hasta conformar cada uno de los arrecifes artificiales conforme a diseño, en este proceso se procurará generar la mayor cantidad de oquedades para que la rugosidad de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

la estructura (arrecife) sea alta y constituya el refugio de vida marina. Se contará con buzos quienes asistirán en todo momento en la instalación de los elementos.

El personal requerido de acuerdo a las maniobras y maquinaria a usar será de 15 personas como se señala a continuación:

- 1 encargado de la obra.
- 2 operadores de grúa.
- 8 operadores para las maniobras de carga y descarga.
- 2 buzos certificados para la colocación de las piezas.
- 1 persona encargada del registro en bitácora (oficina de obra)
- 1 encargado de los camiones que serán usados.

Cabe mencionar que se contará con todas las medidas de seguridad necesarias para la protección del personal.

El tiempo contemplado para la colocación de piezas es de **14 meses** como se puede observar en el Programa General de Trabajo.

### II.2.4.2.1.3 Señalización de estructuras

Una vez instalados los arrecifes artificiales, se implementará señalización y dará mantenimiento durante toda su vida útil. Como se muestra en el Programa General de Trabajo, cada vez que se concluya la construcción de cada arrecife artificial, se colocará su respectivo señalamiento.

### II.2.4.2.2 Sustitución de espigones por andadores piloteados

Como parte de las obras para la restauración del sitio afectado por la instalación de espigones o gazapos, presentes en la zona marina frente al hotel asociado al proyecto, además de las obras antes señaladas, es necesario la sustitución de estas estructuras rígidas por andadores piloteados los cuales permitirán restablecer el flujo hidrológico y con ello la dinámica presente en la zona.

Cabe señalar, que, en las modelaciones realizadas para el presente proyecto, se determinó, que los islotes conectados a las estructuras impermeables o espigones, son funcionales con el modelo hidrodinámico y coadyuvan en la conservación de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

la costa. Por lo que se propone la conservación de los islotes en el sitio, ya que no interferirán con la dinámica costera, ni el transporte litoral, permitirán el uso ya establecido y permitirán la conservación de la fauna que ya se adhirió a ellas por encontrarse más alejado de la costa (*i.e.*, cardúmenes de peces, esponjas, equinodermos y colonias de corales). Asimismo, a partir de la modelación realizada, se propone la sustitución de las estructuras impermeables (espigones) por andadores permeables, que permitan el libre paso de corrientes y sedimentos.





**Figura 21.** Arriba: estructuras impermeables (espigones) que se proponen retirar y sustituir por andadores piloteados; abajo: islotes existentes que se proponen mantener.

Como se mencionó en el Programa General de Trabajo, previo al retiro de los espigones, durante la etapa de preparación del sitio, se colocará geomalla (ver II.2.4.1.1 ).

### II.2.4.2.2.1 Retiro de material de estructuras permeables

El proceso para el retiro de material de dichas estructuras perpendiculares a la línea de costa consiste en 1) retiro de la parte superior, 2) desmantelamiento y 3) maniobra fina. A continuación, se describe cada uno de estos puntos.

En primer lugar, se iniciará el retiro de la parte superior de las estructuras, que corresponde a un área aproximada de 200 m<sup>2</sup>. Para ello, se utilizará una retroexcavadora hidráulica CAT modelo 320 de 20 toneladas de peso y una potencia de 102.9 kW. No será necesario utilizar martillo ni otro aditamento diferente de la retroexcavadora.



**Figura 22.** Ejemplo de retroexcavadora hidráulica que se usará para el retiro de espigones.

La retroexcavadora cargará directamente a un camión de volteo de 20 toneladas de capacidad hasta su nivel permitido, para posteriormente transportar ese material al sitio de acopio temporal, el cual se ubicará en áreas desprovistas de vegetación dentro del área autorizada del hotel asociado al proyecto, que en este caso es el Lote 17 (figura siguiente).





**Figura 23.** Arriba: vista aérea del lote 17 que será el sitio de acopio de material resultante del retiro de las piezas que conforman las estructuras permeables; abajo: vista terrestre del lote 17.

En segundo lugar, se desmantelarán las estructuras, retirando las rocas que lo conforman, con la misma retroexcavadora CAT modelo 320. La retroexcavadora retirará, al mismo tiempo, el material pétreo y lo cargará directamente a camiones de volteo de 20 toneladas de capacidad, desalojando al sitio de acopio temporal.

Finalmente, una vez retirados los materiales gruesos, se realizará una maniobra fina para retirar cualquier remanente en el sitio en cada segmento del espigón (ya que la retroexcavadora retirará por segmentos conforme desmantela el rodamiento), dejando un área adecuada para la colocación de los andadores permeables.

Cabe señalar, que, para el paso de la maquinaria, se cuidará que este sea por la vía más directa y en la zona intermareal, para evitar compactación de la arena en la playa emergida, y en caso de ser necesario, se colocarán guardas utilizando neumáticos.

Se contempla que el tiempo que se dedicará al retiro del material de los espigones será de **tres meses** en total como se puede observar en el Programa General de Trabajo.

### II.2.4.2.2 Hincado de pilotes

A continuación, se describe el proceso de hincado de pilotes. Se realizará la colocación y nivelación de los postes de madera dura de la región de tipo zapote o similar. Los postes tendrán un diámetro de 20 a 28 cm y una altura variable de entre 4.50 y 6.00 m de longitud. El hincado se realizará mediante una excavación con un demoledor manual neumático marca Bosch. Dicho demoledor será conectado a un compresor Sullair modelo 325 de 125 psi de capacidad, operado por personal capacitado, el cual no requiere equipo especial, ya que la profundidad máxima de la columna de agua en el área de perforación, será de 90 cm; de tal forma, que el operador podrá estar todo el tiempo apoyado en el fondo marino, únicamente se requiere visor y esnórquel, y en caso necesario, se contará con equipo de buceo.

Las oquedades para el hincado tendrán una profundidad de 70 cm bajo el lecho de la roca, para colocar dentro de ellos los postes de madera, nivelarlos y apuntalados mediante dados de concreto hidráulico de 0.5 m por vértice, el cual tendrá la resistencia de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ . En todo momento se contará con la geomalla para evitar dispersión de sedimentos o materiales.

Los postes se colocarán en hileras separadas cada 2.40 m; se colocarán cuatro postes en cada hilera separados a cada 1.30 m.

Se contempla que el tiempo que se dedicará al hincado de pilotes será de **tres meses** en total como se puede observar en el Programa General de Trabajo.

### II.2.4.2.2.3 Instalación del andador

Cada andador tendrá una longitud de 48 m de longitud, colocados a una altura sobre el nivel del espejo de agua de 1.3 a 2.5 m en los sitios, permitiendo el flujo de agua y transporte de sedimentos.

Para la instalación del andador, se colocará en la parte superior de los postes las vigas cargadoras de madera dura de la región de 4"x8" (10 x 20 cm) y una longitud de 4.00 metros fijadas a los postes con espárragos de acero inoxidable de 13 mm de diámetro.

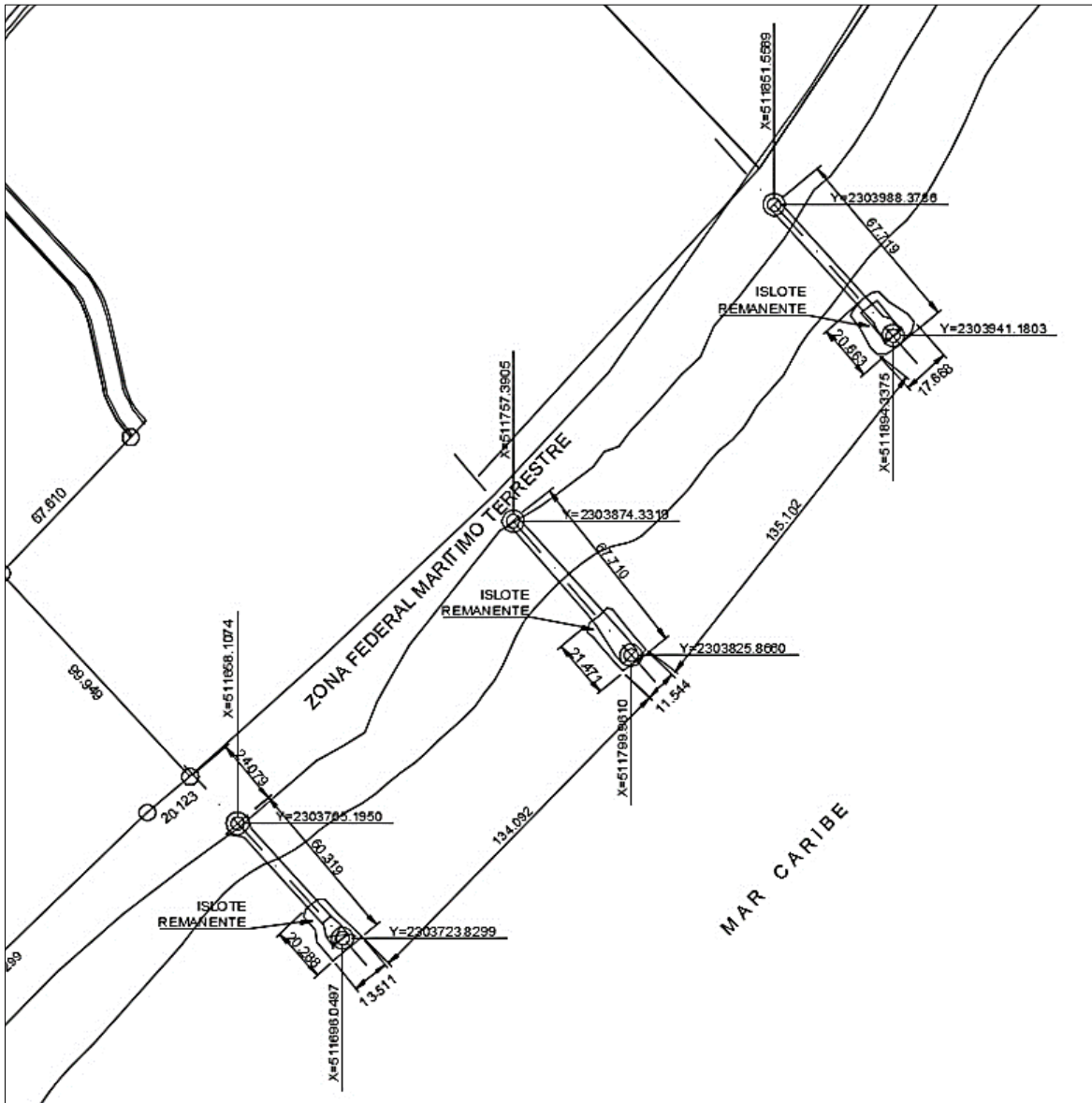
Después de las vigas cargadoras, se instalarán las vigas madrinas, igualmente de madera dura de la región de 4" x 6" (10 x 15 cm) y de una longitud de 2.50 m colocadas sobre cada par de postes, la fijación se realizará con espárragos de acero inoxidable de 13 mm de diámetro.

Posteriormente, se colocará un bastidor (emparrillado) sobre las vigas cargadoras, con madera de pino estufado de 1"x2" (25x50 mm) impregnado, exclusivo para intemperie, separados a cada 40 centímetros, en ambos sentidos, el cual servirá para recibir el deck (piso). La fijación se realizará con espárragos de acero inoxidable de ½" (13 mm) de diámetro.

Finalmente, se colocará el deck (piso) de madera de 38 mm de espesor de diferentes anchos y 2.00 m de longitud. La fijación se realizará con espárragos de acero inoxidable de 13 mm de diámetro.

Se contempla que el tiempo que se dedicará al hincado de pilotes será de **tres meses** en total como se puede observar en el Programa General de Trabajo.





**Figura 24.** Ubicación y dimensiones de los andadores piloteados para sustituir a las estructuras impermeables.

## PROYECTO: "Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas"

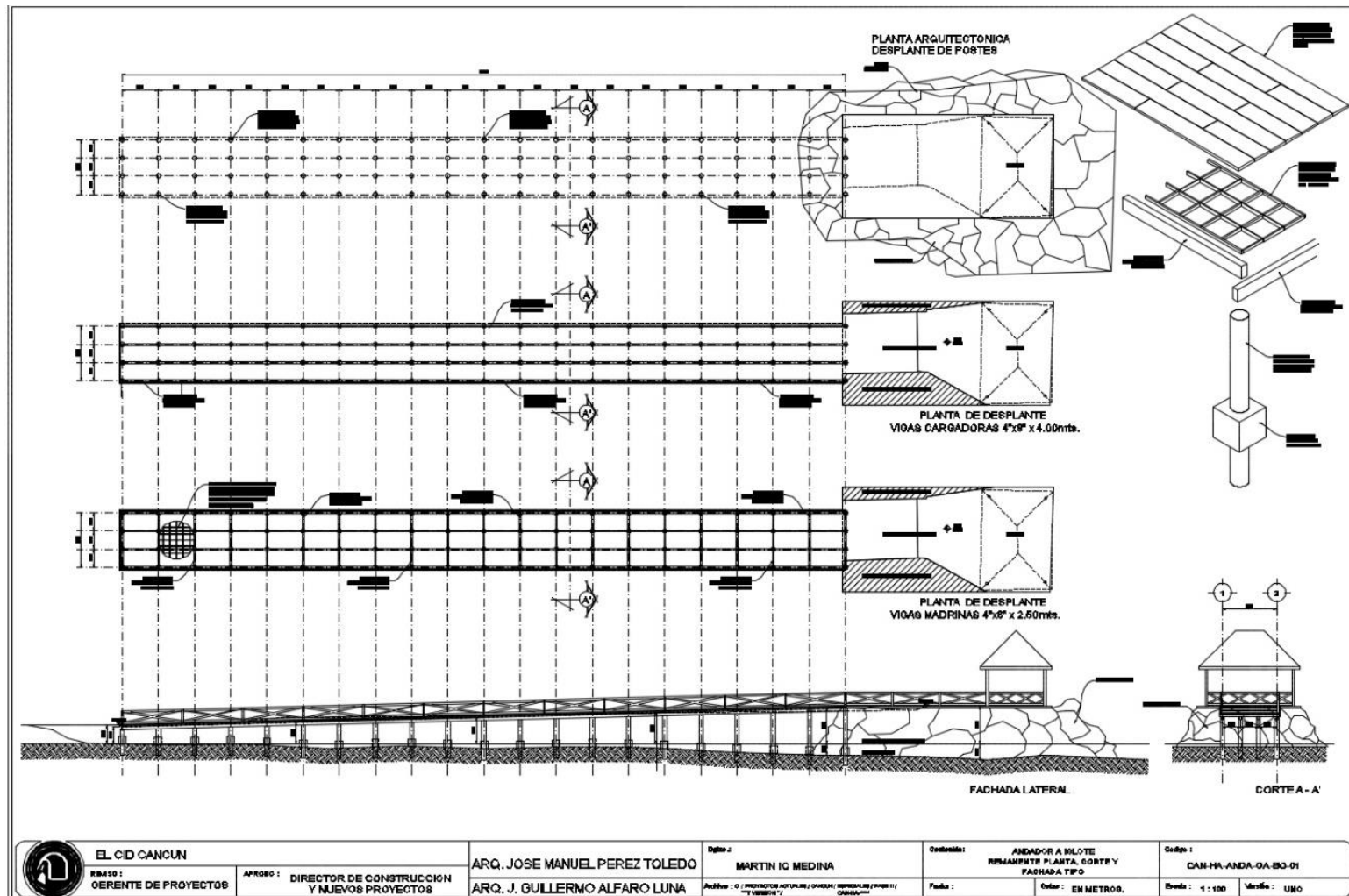
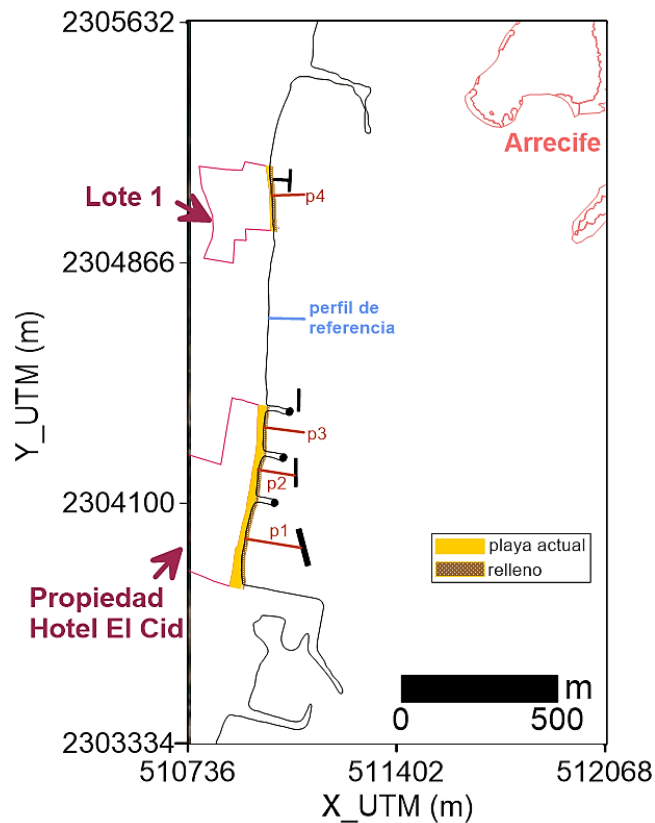


Figura 25. Proceso de colocación de cada componente del andador para sustituir las estructuras impermeables.



### II.2.4.2.3 Regeneración de la playa

La regeneración de playa consiste en regresar la arena que ha salido del sistema, y colocarla estratégicamente en la playa para que los procesos naturales la redistribuyan de forma natural en el sitio. De tal forma que, para la regeneración del ancho de playa seca, se pretende aumentar a 10 m, debido a que se ha perdido aproximadamente 14 m de su ancho original, en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales. La regeneración de playa tendrá una longitud total aproximada de 755 m. Se calcula que se requiere un volumen de aproximadamente 10,400 m<sup>3</sup> de arena para recuperar la amplitud de la playa (Anexo II.2). Es importante señalar que la ocurrencia de tormentas induce un retroceso de la playa unos 20 m, produciendo una pérdida definitiva de arena, ya que la misma se aleja demasiado de la orilla (>300 m), complicando su recuperación a través de procesos naturales.



**Figura 26.** Ubicación de los perfiles de referencia para la regeneración de playa (Anexo II.2).

La arena para la regeneración del ancho de playa seca, será tomada de la que se ubica dentro del SAR. Para determinar los mejores sitios de extracción de arena dentro del SAR, se realizó lo siguiente: 1) **Identificación de las zonas de acumulación de arena**, 2) **Análisis de compatibilidad del sedimento**, 3) **Propuesta de zonas de extracción de arena** y 4) **Caracterización biológica de las zonas de extracción de arena propuestas**.

**1) Identificación de las zonas de acumulación de arena.** A partir de imágenes de satélite del periodo de 1984 a 2016 (32 años), se realizó un análisis conjunto de hidrodinámica y dinámica sedimentaria con el fin de reconocer zonas de acumulación de arena (Anexo II.8). Se identificaron cinco zonas de acumulación de arena (A, C, D, E, G; figura siguiente). A continuación, se describen las zonas referidas como “A”, “C”, “D”, “E” y “G”, en el entendido que las zonas “B” y “F”, por localizarse fuera del SAR, no fueron consideradas dentro de las alternativas.

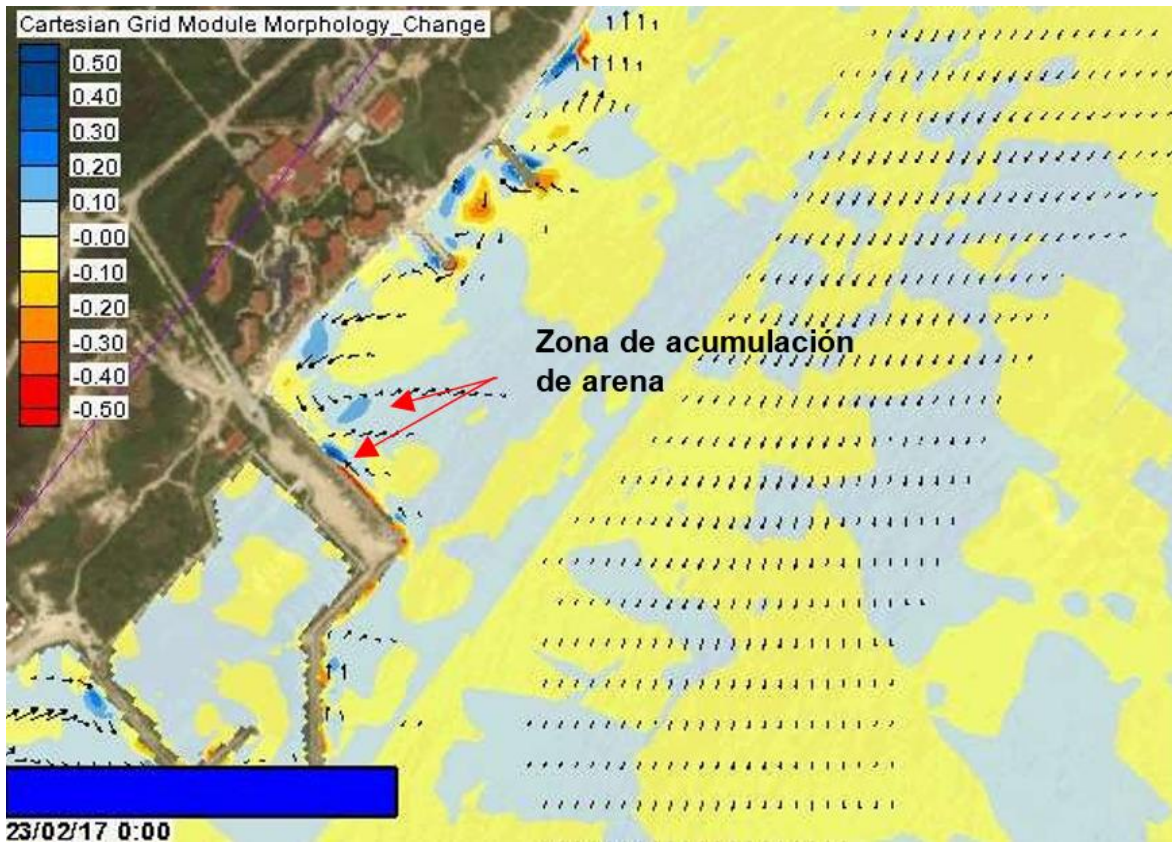




**Figura 27.** Ubicación de las diferentes zonas de acumulación de arena identificadas en el Sistema Ambiental Regional del proyecto.

**Zona de acumulación “A”.** Se ubica entre La Marina El Cid y espigones. En esta zona los sedimentos se depositan por medio del transporte longitudinal proveniente de la celda generada por los espigones (contigua al noreste), el baipás (*i.e.*, desvío hecho un circuito para salvar una interrupción o un obstáculo; RAE 2019) desde el suroeste (que cruza la Marina El Cid) y el transporte transversal hacia tierra. El sedimento de esta zona es producto de la dinámica sedimentaria de la misma costa, su origen secundario es la playa frente donde se pretende desarrollar el proyecto, pues por el ángulo con que incide el oleaje siempre existe un potencial de transporte y la arena de la playa tiende a transportarse hacia la zona de acumulación “A”, por lo cual, **esta zona siempre se está alimentando de sedimento.**





**Figura 28.** Zona de acumulación “A”.

En las siguientes figuras se corrobora la acumulación de sedimento que interpreta el modelo de evolución morfológica con base en la dinámica por corrientes litorales en la zona donde se ubica el banco “A”, así como con el análisis de imágenes de satélite de 2005 a 2016 (11 años). Las figuras muestran un patrón de acumulación bien definido, en donde incluso al presentarse el huracán Wilma en 2005, no se aprecian cambios importantes en 2006 en dicha zona.



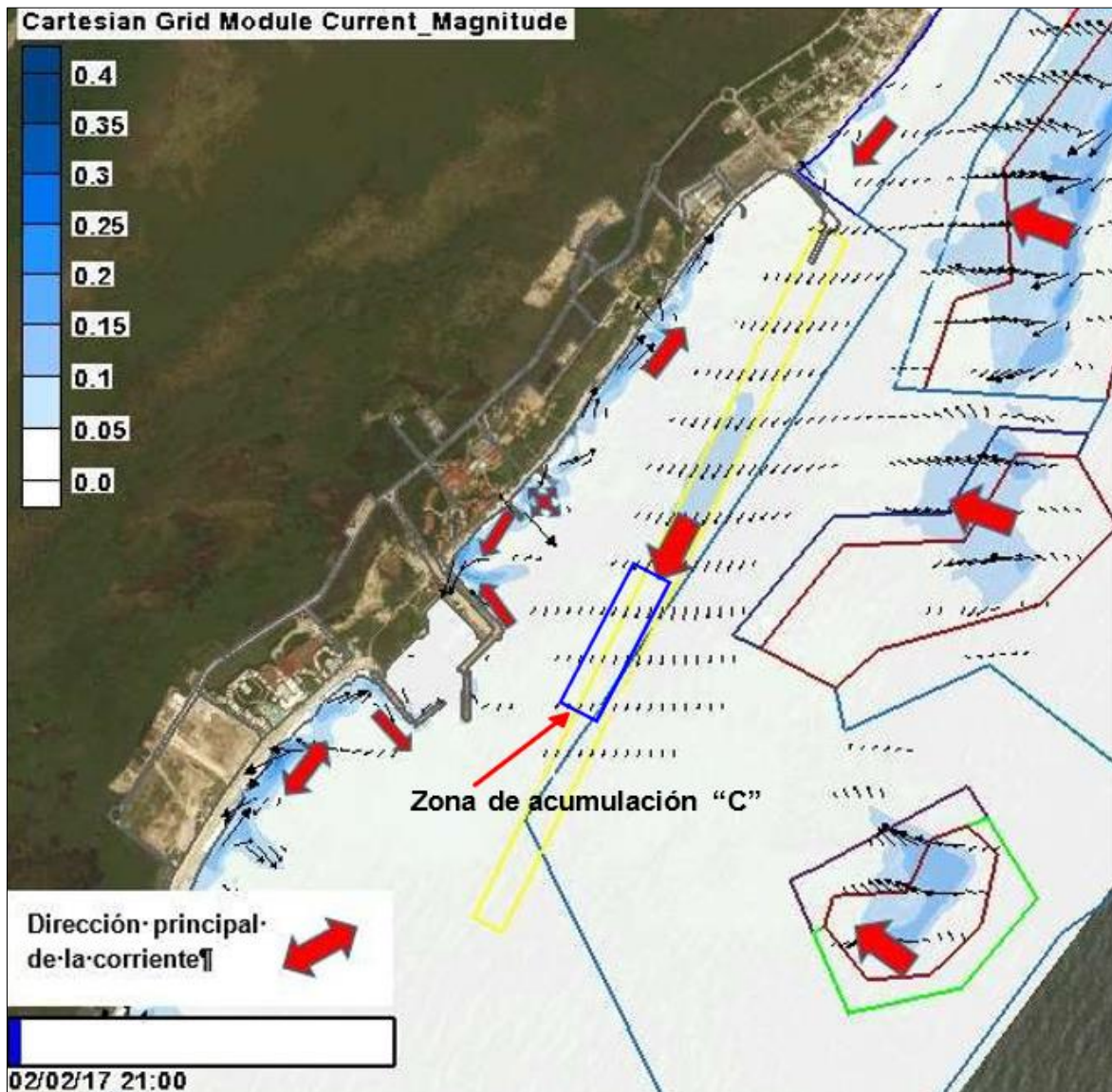
**Figura 29.** Zona de acumulación de arena “A” (Banco A) en el periodo comprendido entre los años 2005 a 2016.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Lo anterior muestra que, **la extracción de sedimento de esta zona de acumulación, no afectaría ninguna zona aledaña**, pues es material que proporcionan las celdas contiguas, depositado a través de las corrientes litorales por varios años (*i.e.*, 15,268 m<sup>3</sup>/año de sedimento: 6,639 m<sup>3</sup>/año proveniente de la celda de espigones, y 8,629 m<sup>3</sup>/año por el baipás), seguirá depositándose, ya que, al no cambiar la orientación de la playa, el ángulo con que incide el oleaje siempre mantendrá su potencial de transporte.

**Zona de acumulación “C”.** Esta zona se ubica en el frente marítimo del sitio donde se pretende la ubicación del proyecto, a una distancia de ~400 m de la costa, de forma paralela al canal de navegación que va al Muelle Fiscal a una distancia aproximada de ~0 m. La profundidad promedio de dicha zona es de ~5.5 m. En esta zona, las corrientes, son inducidas principalmente por la marea. Esta zona de acumulación, ubicada entre la costa y los arrecifes, se desarrolla un canal de corriente sensiblemente paralelo al eje del canal de navegación, que va todo el tiempo hacia el suroeste, con una velocidad casi imperceptible (2.5 cm/s en promedio). Este banco de arena se origina a partir de los sedimentos que, por efecto de las tormentas, fueron expulsados de zonas altas de playa y depositados en la zona profunda.

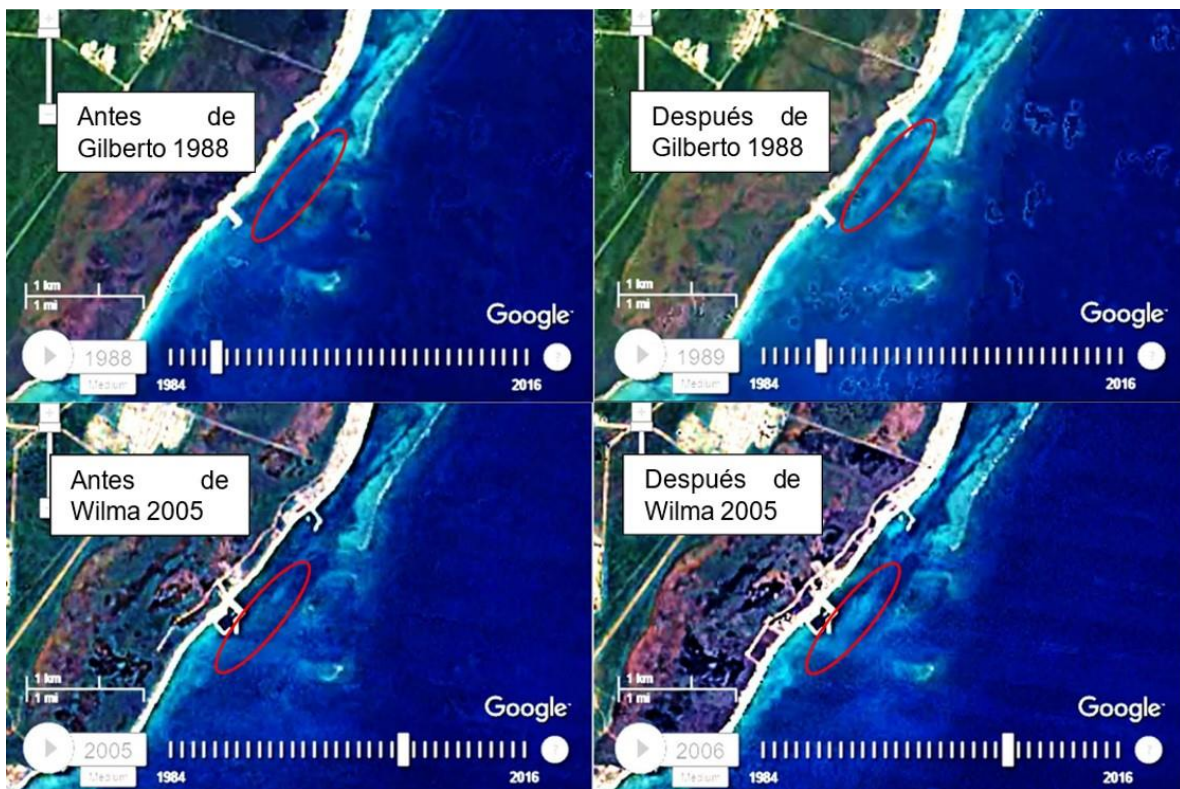


**Figura 30.** Zona de acumulación "C".

Con base en la revisión de imágenes de satélite de 1984 a 2016, la arena proviene de la playa delimitada entre el límite de la población de Puerto Morelos al norte y la Marina El Cid, esto se comprueba con la comparativa de imágenes al paso del huracán Gilberto y Wilma. Las imágenes muestran que antes del huracán existe poco sedimento en la zona y una acumulación muy importante de sedimento posterior a dicho evento.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

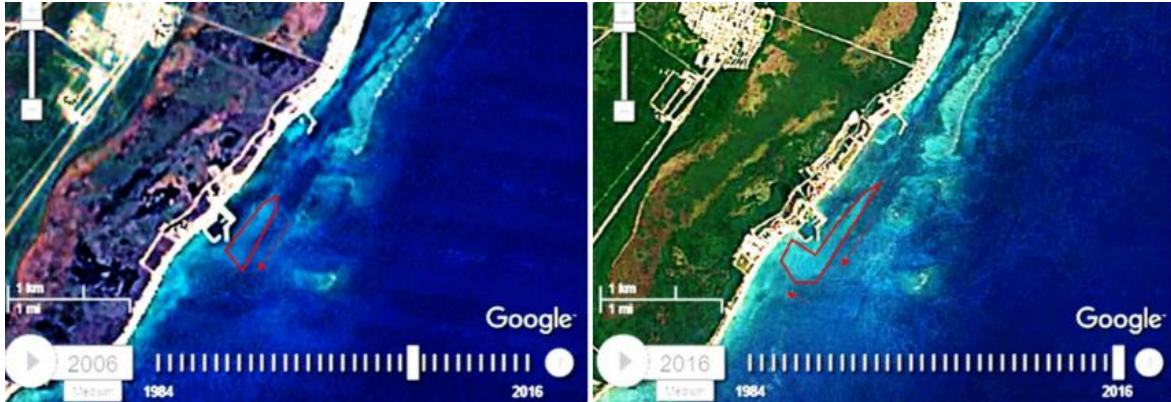
Al analizar los históricos disponibles (1984 a 2016), la zona de acumulación “C” tenía un área de 100 mil m<sup>2</sup>; posteriormente, se incrementó a ~250 mil m<sup>2</sup> con el paso del Huracán Gilberto y se restableció a 100 mil m<sup>2</sup> al paso de ~5 años, cuando se presentó el huracán Wilma en 2005; después de 10 años, la zona de acumulación, al paso de huracán no se redujo, siendo de al menos ~250 mil m<sup>2</sup>, aunque se aprecia una mayor dispersión hacia el suroeste de La Marina El Cid. Por lo que la arena permanece en dicha zona, aunque más dispersa.



**Figura 31.** Zona de acumulación de sedimento ocasionado por el paso de huracanes.

Finalmente, se identificó que, en esta zona de acumulación de arena, la dinámica sedimentaria es mínima, con una migración de sedimento hacia el suroeste de la Marina El Cid (erosión de 0.5 cm en un mes: ~6 cm/año). La **zona de acumulación “C”, solo abarca 70,000 m<sup>2</sup>**, de al menos **250,000 m<sup>2</sup>** que cubre el **área de depósito de arena por erosión por el paso de tormentas**. Si solo se fuera a extraer la arena de la zona de acumulación C (14,000 m<sup>3</sup>), se tendría que excavar 0.4 m en 35,000 m<sup>2</sup>, o 0.2 m en 70,000 m<sup>2</sup>.





**Figura 32.** Área de depósito de arena (250,000 m<sup>2</sup>; año 2016) producto de la erosión por efecto de tormentas, huracanes. Comparación de la evolución del área de depósito entre los años 2006 y 2016. La arena tiende a dispersarse hacia la margen suroeste de La Marina El Cid.

**Zona de acumulación “D”.** Se ubica frente a La Marina El Cid (ver Figura 27). Esta zona de acumulación forma parte del área de depósito de arena (250,000 m<sup>2</sup>; figura anterior); como se explicó en la Zona de acumulación “C”, los sedimentos de la Zona de acumulación “D”, son producto de la erosión causada en las zonas altas de playa por efecto de las tormentas, depositando dicha arena en zonas profundas. A pesar de ser una alternativa para la extracción de arena para la regeneración de playa, esta zona de acumulación se encuentra a una mayor distancia de bombeo al sitio de regeneración de playa, lo cual podría tener un mayor costo económico.

**Zona de acumulación “E”.** Se ubica en el margen suroeste de La Marina El Cid (ver Figura 27). Esta zona de acumulación también forma parte del área de depósito de arena (250,000 m<sup>2</sup>; figura anterior); como se explicó en la Zona de acumulación “C”, los sedimentos de la Zona de acumulación “E”, son producto de la erosión causada en las zonas altas de playa por efecto de las tormentas, depositando dicha arena en zonas profundas. A pesar de ser una alternativa para la extracción de arena para la regeneración de playa, además de encontrarse a una mayor distancia de bombeo al sitio de regeneración de playa, esta zona de acumulación también puede generar conflictos con los predios vecinos.

**Zona de acumulación G.** Se ubica frente al Lote 1, cerca de Puerto Morelos (ver Figura 27). Esta es una zona de extracción factible, ya que se encuentra muy próxima a una de las zonas en las que se pretende realizar la regeneración de playa.

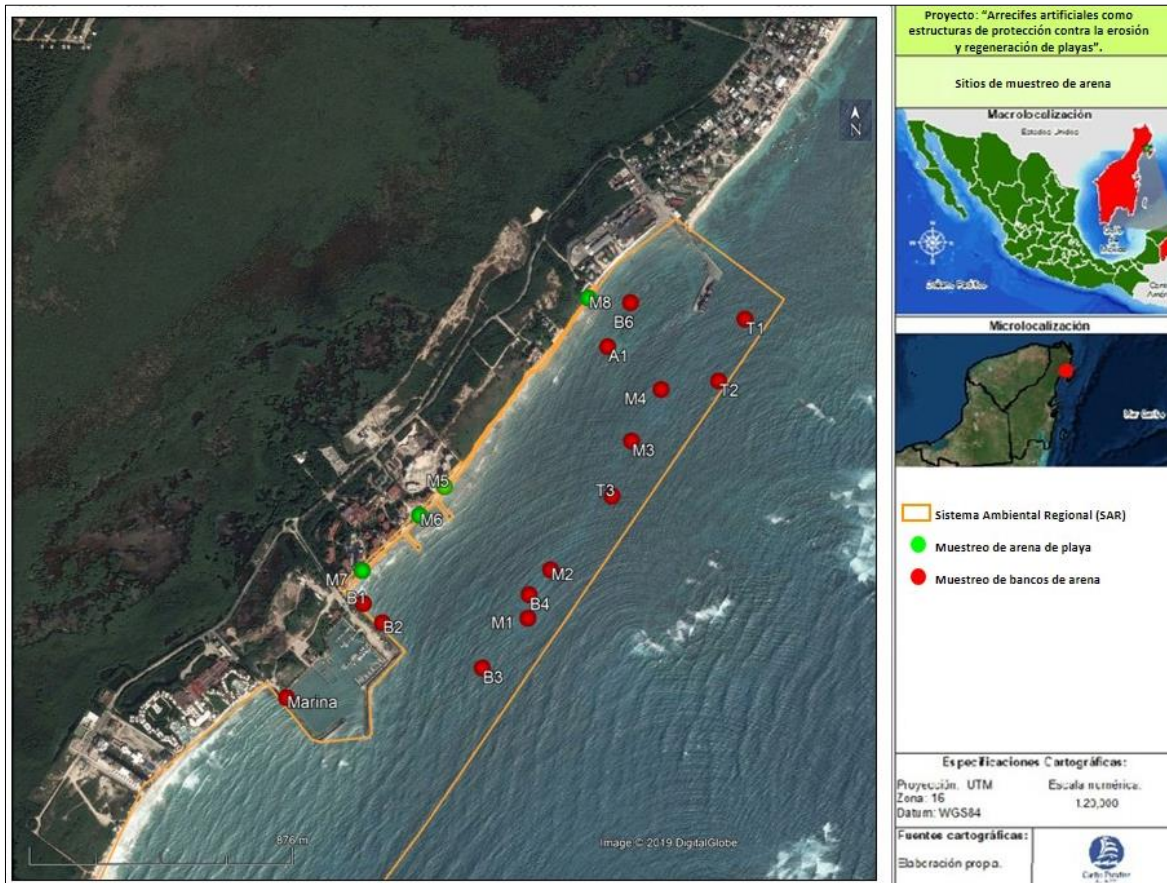
## 2) Análisis de compatibilidad del sedimento

Una vez identificadas las zonas de acumulación de arena, se procedió a realizar un análisis de compatibilidad de sedimento, esto debido a que la arena que se utilice como material de relleno debe cumplir con una serie de criterios de semejanza en relación a la existente en la playa a regenerar. En total se tomaron 18 muestras de arena: 14 muestras de arena de los bancos y cuatro muestras de arena de playa. A continuación, se presentan las coordenadas de los puntos de donde se obtuvieron las muestras de arena.

**Tabla 7.** Coordenadas de los puntos de muestreo de arena.

Muestras	Puntos de muestreo	X (UTM 16 Q)	Y (UTM 16 Q)
Bancos de arena	M1	512063.36	2303491.43
	M2	512138.94	2303652.02
	M3	512408.68	2304078.62
	M4	512506.82	2304249.31
	T1	512786.1	2304482.24
	T2	512698.65	2304277.74
	T3	512343.21	2303896.28
	B1	511514.73	2303539.84
	B2	511578.38	2303476.21
	B3	511911.45	2303326.89
	B4	512067.48	2303569.54
	B6	512404.73	2304536.69
	A1	512328.55	2304391.40
	Marina	511258.96	2303228.04
Playa	M5	511785.79	2303927.6
	M6	511702.68	2303832.28
	M7	511511.04	2303649.13
	M8	512264.46	2304552.32

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 33.** Sitios de muestreo de arena.

De acuerdo con la granulometría (Anexo II.2), el sedimento de relleno estará en equilibrio si su diámetro medio, representado por el parámetro  $D_{50}$ , es igual al de la arena nativa donde se vierte. En general, las arenas utilizadas para la regeneración de playas suelen tener un tamaño similar a la nativa o ligeramente superior. Si la arena de préstamo contiene tamaños que no se encuentran en la muestra nativa, éstos pueden resultar inestables en el relleno y perderse mar adentro, como es el caso de las fracciones muy finas o partículas orgánicas compuestas de conchas frágiles.

De acuerdo con los resultados del Anexo II.2, los sitios que muestran un tipo de sedimento similar al de la playa receptora corresponden a los puntos de muestreo B1, B2, B3, B4, B6, A1 y Marina.

Muestras	Puntos de muestreo	D <sub>50</sub> (mm)	% Finos
Playa	M5	0.232	0.17
	M6	0.372	0.49
	M7	0.277	0.16
	M8	0.356	0.09
Bancos de arena	B2	0.14	0
	B4	0.15	1
	A1	0.223	0.28
	Marina	0.27	0.68
	B3	0.29	0
	B1	0.43	0
	B6	0.65	2

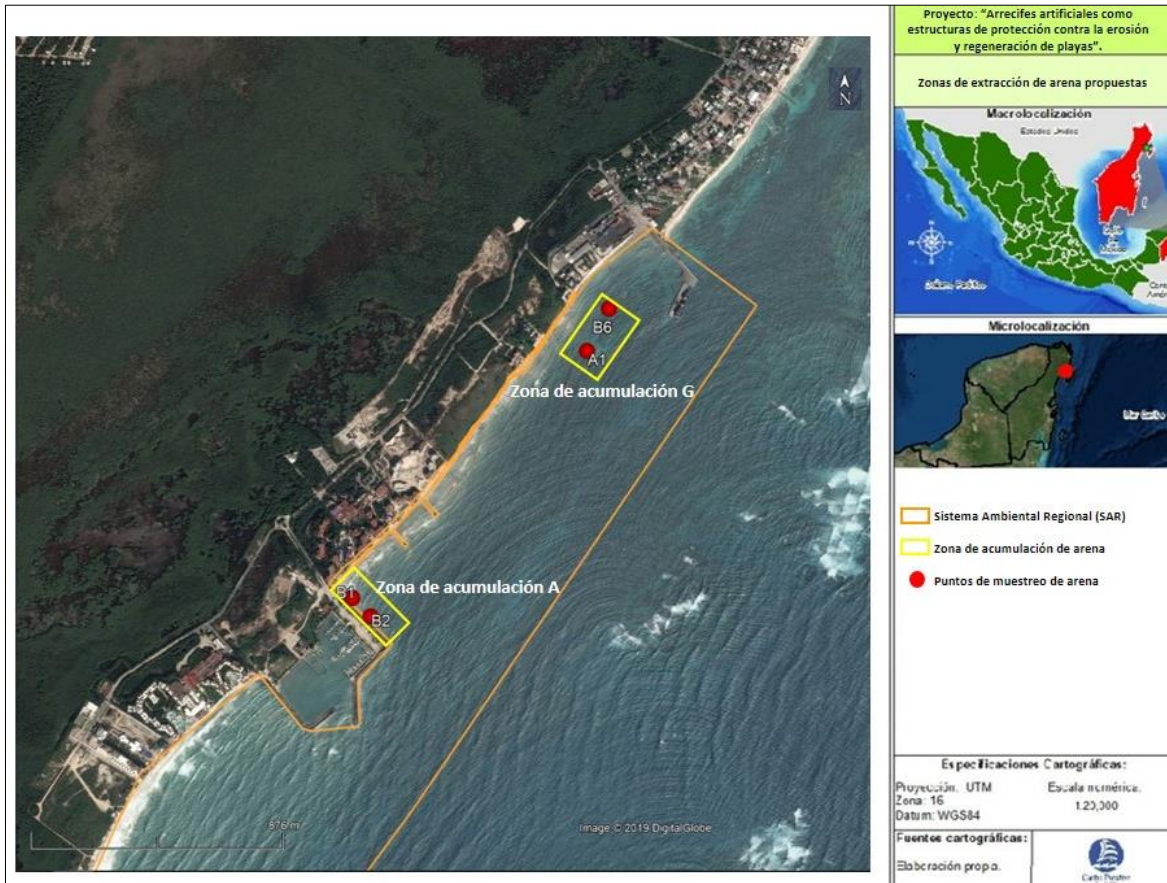
### 3) Propuesta de zonas de extracción de arena

Considerando la información sobre las zonas de acumulación identificadas, así como del análisis de compatibilidad de sedimentos, **se propone como zonas de extracción de arena para la regeneración de playa a la: Zona de acumulación “A” y Zona de acumulación “G”.**

**Zona de acumulación “A”.** Esta zona se eligió debido a que: 1) las muestras de arena de los puntos **B1 y B2** resultaron tener características granulométricas semejantes a las de la playa a regenerar (tabla anterior; Anexo II.2); 2) la proximidad de bombeo entre la zona de acumulación y de regeneración de playa es menor que con las otras zonas de acumulación, lo cual permitirá evitar conflictos con predios vecinos; y 3) esta zona siempre se está alimentando de sedimento, como se explicó anteriormente, por lo que **la extracción de sedimento de esta zona de acumulación, no afectaría ninguna zona aledaña**, pues es material que proporcionan las celdas contiguas, depositado a través de las corrientes litorales.

**Zona de acumulación “G”.** Esta zona se eligió debido a que: 1) las muestras de arena de los puntos **B6 y A1** resultaron tener características granulométricas semejantes a las de la playa a regenerar (tabla anterior; Anexo II.2); 2) la proximidad de bombeo entre la zona de acumulación y de regeneración de playa es menor que con las otras zonas de acumulación, lo cual permitirá evitar conflictos con predios vecinos.





**Figura 34.** Zonas de extracción de arena propuestas.

La reubicación de este material en la playa nuevamente, pretende restablecer las condiciones originales de la playa con el mismo material original.

#### 4) Caracterización biológica de las zonas de extracción de arena propuestas

La caracterización biológica de las zonas de extracción de arena propuestas, se incluye en el Capítulo IV (anexo IV.1), del presente estudio. De manera general se puede indicar que en ambas zonas no se presenta fauna bentónica o vegetación relevante.



### II.2.4.2.3.1 Traslocación de arena

Como se mencionó en la sección anterior, **se propone que la arena se tome de la zona de acumulación “A” y “G”, localizadas en la zona marina frente al hotel asociado al proyecto** (ver figura anterior). El tiempo contemplado para la traslocación de la arena, a las zonas de regeneración de playa, es de cuatro meses, como se señala en el Programa General de Trabajo, transportando cantidades adecuadas para evitar su acumulación innecesaria en el sitio.

La promovente realizará la traslocación de arena de la Zona de Acumulación “A” y “G” a las zonas de relleno correspondientes, mediante bombeo hidráulico con un método que permite una gran precisión y alta selectividad en cuanto al sustrato y sitio que ser bombea, de tal manera que se puede discernir en sitio un pequeño manchón de pasto o algún organismo sésil y en caso de haber algún organismo (flora o fauna) se rescatará. La translocación de la arena se llevará a cabo de forma cuidadosa mediante el siguiente procedimiento.

1. En la parte noreste de la playa, se instalará un tablero de control del suministro eléctrico del cual se alimentarán los equipos como bombas, compresor de buceo y herramientas.
2. De ser necesario, con el apoyo de una embarcación, se trasladará al sitio de trabajo una bomba sumergible y se colocará sobre las zonas de disposición de arena. Se colocará la señalización adecuada.
3. La arena se tomará del banco de préstamo señalado, según el caso, utilizando bombas sumergibles que succionan mediante un dispositivo con rejilla que evita la extracción de rocas.
4. Hidráulicamente la arena se conduce hasta la playa mediante mangueras.
5. El procedimiento de translocación de la arena se realiza con el apoyo de buzos que manipulan el extremo de la manguera de absorción que se va desplazando por el fondo recogiendo la arena por la succión de la bomba lo que permite al buzo discernir y controlar los materiales que la bomba absorbe.



**Figura 35.** Procedimiento de traslocación de arena.

6. Periódicamente el buzo retira elementos extraños de la rejilla para prevenir que la manguera se obstruya o se viertan rocas u otros cuerpos a la playa.
7. De manera preventiva se colocará malla geotextil, para evitar la dispersión de los sedimentos finos en suspensión en caso de que éste se llegue a presentar.
8. La arena succionada por la bomba es traslocada en la zona de la playa a rehabilitarse conforme a diseño.
9. Durante estos trabajos se mantendrán medidas de seguridad, como la colocación de boyas y banderines de señalamiento.

Para la disposición de arena se requieren tres personas, las cuales se intercambiarán según sea necesario. Sus actividades consistirán en lo siguiente:

- a. Una persona verificará constantemente la integridad del proceso y del equipo. En el remoto caso de presentarse una fuga de arena, se suspenderá inmediatamente el bombeo de arena y la falla será reparada.
- b. Monitoreo desde la superficie del compresor y el interruptor de encendido de la bomba; una persona será responsable de encender y apagar la bomba sumergible, además de vigilar el buen funcionamiento del equipo y vigilar la manguera de descarga.

- c. Finalmente, el buzo que estará en el fondo marino del sitio de disposición de arena, cerca de la bomba sumergible, sosteniendo el dispositivo de succión, de tal forma que sea absorbida una mezcla aproximada de 80% de agua y de 20% de arena.

Se tiene contemplado que la traslocación de arena tenga una duración total de **cuatro meses**.

### II.2.4.2.3.2 Vertido y acomodo de arena

La arena será vertida mediante la manguera que proviene de la succión. El resultado inicial, será la formación de un cúmulo de arena frente a cada playa a rehabilitar en la zona intermareal el cual se irá distribuyendo de forma natural a lo largo de la playa por efecto del oleaje y corriente litoral. De cualquier modo, existirá un operador que conduzca este vertimiento a lo largo de la playa de forma que se faciliten los procesos de distribución de la arena bombeada por los procesos de transporte litoral. En caso que se requiera transportar arena en la playa seca, ésta será “distribuida y acomodada” de preferencia de forma manual y en caso necesario con maquinaria de pequeña escala (trascabo).

El tiempo considerado para el vertido y acomodo de arena es de **cuatro meses**, como se indica en el Programa General de Trabajo.

## II.2.5 Operación y mantenimiento

### II.2.5.1 Estructuras de protección costera

En el caso de este proyecto, no será necesario hacer algún tipo de mantenimiento, a menos que por causas de algún fenómeno natural (huracán o marejadas) se pudieran afectar o desplazar las estructuras.

#### II.2.5.1.1 Monitoreo de estructuras de protección costera

Las estructuras de protección costeras serán monitoreadas con una periodicidad semestral, durante un periodo 3 años y posteriormente anualmente y posterior a la presencia de un huracán de gran intensidad a fin de verificar que todas las piezas

que conforman los arrecifes artificiales se mantengan en su lugar. El monitoreo se llevará a cabo como se describe a continuación.

El monitoreo se realizará con al menos dos buzos y un camarógrafo en todas las estructuras colocadas. Los organismos a registrar serán considerados dentro del bentos o del necton. En el caso del **necton** (principalmente peces), se realizará por medio de la búsqueda en todas las estructuras, registrando la cantidad de especies e individuos. Posteriormente en la parte central de cada una de ellas con transectos de 25 metros, se cuantificará el número de organismos de cada especie que ahí se encuentre y su talla aproximada con lo cual se estimará su abundancia y diversidad. Para el caso de los organismos **bentónicos** se tomarán sitios permanentes por cada una de las estructuras, considerando tener representatividad en cuanto a los sitios, tomando cuatro sitios: dos extremos y dos centrales; estos sitios se localizarán tanto a barlovento como a sotavento, en los cuales se registrará todos los organismos sésiles, separando por grupos biológicos, algas, corales, equinodermos, así como cualquier otro grupo de organismos que se adhieran a la roca.

Se realizarán mediciones para estimar el tamaño de los organismos, así como anotaciones con respecto a la condición que guardan para detectar mortalidad o algún otro tipo de daño, así como de la morfología de las colonias.

Los organismos serán identificados *in situ*, corroborando después con el material fotográfico y las claves y guías de campo para cada taxón. Se realizará una comparación estadística en cada muestreo a lo largo del tiempo, la cual permitirá evaluar la integración que los arrecifes artificiales tengan con la vida silvestre en el sitio.

### II.2.5.1.2 Señalización de estructuras (mantenimiento)

Como se mencionó anteriormente, una vez que cada arrecife artificial sea concluido, se colocarán señalizaciones indicativas de la presencia de dichas estructuras en la zona, mismas que durante toda la etapa de operación y mantenimiento, serán revisadas con el fin de verificar que se encuentren en buen estado; en caso contrario, serán sustituidas por unas nuevas.

### II.2.5.1.3 Reacomodo de piezas

A través del monitoreo de estructuras de protección costera, se podrá confirmar si es necesario el reacomodo de piezas. En caso necesario, serán reacomodadas, con el uso de boyas o, en caso necesario, utilizando un chalán de 300 toneladas de capacidad equipado con una segunda grúa con capacidad de 20 toneladas.

### II.2.5.2 Andadores piloteados

#### II.2.5.2.1 Monitoreo del área liberada

Una vez realizada la sustitución de las estructuras permeables o espigones por los andadores piloteados, se realizará un monitoreo de las áreas liberadas con una periodicidad anual, durante un periodo 3 años. El monitoreo se realizará con al menos dos buzos y un camarógrafo en todas las áreas liberadas. Se cuantificará el número de organismos de cada especie que ahí se encuentre y su talla aproximada con lo cual se estimará su abundancia y diversidad. Se realizarán mediciones para estimar el tamaño de los organismos, así como anotaciones con respecto a la condición que guardan para detectar mortalidad o algún otro tipo de daño.

Los organismos serán identificados *in situ*, corroborando después con el material fotográfico y las claves y guías de campo para cada taxón. Se realizará una comparación estadística en cada muestreo a lo largo del tiempo.

### II.2.5.3 Playa rehabilitada

#### II.2.5.3.1 Monitoreo de la playa

Una vez que haya sido rehabilitada la playa, se realizará un monitoreo del perfil de playa cada 4 meses, durante un periodo 10 años. Con este monitoreo y las diferencias encontradas a lo largo del tiempo, se podrán obtener los ciclos y tendencias, para denotar el funcionamiento de la regeneración de playa realizada. Los perfiles de playa son precisamente el grado y el modo de acumulación de arena por procesos que ocurren en el sitio a lo largo del tiempo, lo cual posibilitara a tomar acciones necesarias a tiempo, medir los impactos que puedan tener eventos meteorológicos extraordinarios e incluso corregir acciones antrópicas que puedan afectar la estabilidad de la playa.



Para los perfiles de playa se utilizará la metodología propuesta por Andrade y Ferreyra (2006), que básicamente consiste en la realización de perfiles de playa geo-referenciados con GPS y medidos con estadales y manguera de nivel. Una vez se registren las mediciones de los perfiles de playa se analizarán para la toma de decisiones. De ser posible, se llevarán a cabo vuelos de dron (aeronaves no tripuladas), para apoyar con evidencia fotográfica las modificaciones observadas en la playa en caso que estas se presenten.

### **II.2.6 Desmantelamiento y abandono de las instalaciones**

Como se mencionó anteriormente, se pretende la construcción de cuatro arrecifes artificiales, la sustitución de estructuras impermeables por estructuras permeables y la regeneración de playa. Estas obras serán permanentes por lo que no se considera el desmantelamiento y abandono de las mismas.

### **II.2.7 Residuos**

Los trabajadores encargados de la colocación de los arrecifes artificiales podrán utilizar las instalaciones para empleados del hotel asociado al proyecto, como es el comedor, sanitarios y regaderas, por lo que no generarán residuos que requieran de un manejo distinto al que realiza el hotel.

Los residuos que se lleguen a generar por la maquinaria o equipo de la operación, será responsabilidad directamente de la empresa que prestara el servicio de construcción y colocación de las estructuras, salvo alguna situación de derrame, se aplicaran acciones emergentes.

El material extraído que conforman las estructuras impermeables será almacenado en las zonas del hotel asociado al proyecto que actualmente ya se utilizan para servicios para su posterior reutilización en alguna obra dentro del mismo.

### **II.2.8 Generación de gases de efecto invernadero**

El cambio climático se refiere a la modificación del clima con respecto a las condiciones históricas. La causa principal del cambio climático de origen antropogénico es el calentamiento global, el cual se refiere a un aumento de la

temperatura promedio en el planeta como resultado de una mayor concentración de **gases de efecto invernadero** en la atmósfera.

La mayor retención de calor solar intensifica el efecto invernadero y provoca los fenómenos climáticos más intensos y extremos. Como resultado de ello se observan veranos más cálidos, modificación de los patrones de las lluvias y variación en la frecuencia de sequías e inundaciones, además del aumento en el nivel del mar y la alteración de la línea de costas. Si bien existen componentes naturales de las variaciones climáticas, los indicadores de emisiones se han incrementado notablemente en los últimos 150 años, periodo que da cuenta del mayor crecimiento económico en la historia de la humanidad. Esto ha conducido al reconocimiento de que el cambio climático es atribuible directa o indirectamente a la actividad humana.

### II.2.8.1 Generación de gases de efecto invernadero

Los principales gases de efecto invernadero son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), clorofluorocarbonos (CFC), entre otros. A continuación, se describe cómo son generados cada uno de estos gases de efecto invernadero.

**Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).** Se produce por la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural o sus derivados), así como en la producción de energía, funcionamiento de los procesos industriales y uso en el sector transporte; también se genera a través de procesos industriales (como la producción de cemento, cal, sosa, amoníaco, carburos de silicio o de calcio, acero, y aluminio), la deforestación y quema de la biomasa vegetal.

**Metano ( $\text{CH}_4$ ).** Este gas se produce mediante actividades anaeróbicas como la agricultura, gas natural, emisiones de hatos ganaderos y rellenos sanitarios. El metano es un gas bastante potente que favorece el calentamiento global, y es que cada kilogramo de este calienta en 100 años el planeta 23 veces más que la misma masa de dióxido de carbono. Sin embargo, al existir mucha menor cantidad de  $\text{CH}_4$  que de  $\text{CO}_2$ , el metano no hace tanto daño e influye de forma menos importante en el efecto invernadero.

**Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).** Es producido por procesos biológicos en océanos y suelos, también por procesos antropogénicos que incluyen combustión industrial, gases de escape de vehículos de combustión interna. Este gas es destruido fotoquímicamente en la alta atmósfera. En los últimos 100 mil años las concentraciones de óxido nitroso en la atmósfera raramente han excedido 280 ppb, los niveles han crecido desde los 1920s y han llegado a un nuevo máximo de 325 ppm en 2012, este aumento es principalmente debido a la agricultura.

**Clorofluorocarbonos (CFC).** Se encuentran en los aparatos de aire acondicionado, neveras, aerosoles y utilizados también en diversos procesos industriales.

Con base en lo anterior, se presenta la generación de gases invernadero por las diversas actividades involucradas en los diferentes elementos del proyecto:

### II.2.8.1.1 Estructuras de protección costera

#### Transporte terrestre: banco autorizado a brazo norte de la marina

La distancia aproximada entre el banco autorizado y el brazo norte de la marina El Cid es de 26 km, por lo que el número aproximado de kilómetros que recorrerá, ida y vuelta, cada camión de volteo, será de 52 km. Dado que se estima que el número total de piezas requerido para la construcción de las estructuras de protección costera es de 8,152, se calcula que el número aproximado de fletes para el **transporte terrestre** de las piezas del banco autorizado al brazo norte de la marina El Cid es de 905.78. De esta manera, el número total de kilómetros a recorrer para transportar la totalidad de las piezas, ida y vuelta, será de 47,100 km. Los camiones de volteo de 20 toneladas tienen un rendimiento aproximado de 4.2 km/l de diésel. De tal forma que, por cada viaje de ida y vuelta, un camión de volteo gasta aproximadamente 12.38 litros de diésel. Mientras que la cantidad total estimada de combustible necesario para el transporte terrestre de las piezas es de 197,821.87 litros de diésel (i.e., 47,100 km x 4.2 km/l = 197,821.87 l).

Como los motores de diésel emiten 2.79 kg de CO<sub>2</sub> por cada litro de diésel (OCCC 2011), entonces en total **se emitirán 551.92 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el transporte terrestre** de las piezas para la construcción de las estructuras de protección costera. Cabe recordar, que **esta es una actividad terrestre que forma parte de las actividades del proveedor de las rocas**, no del promovente, y, por lo

tanto, esta emisión de CO<sub>2</sub> no se considera parte del desarrollo del presente proyecto, y **no se sumarán al total de CO<sub>2</sub> producido por el proyecto.**

### **Transporte marino: Brazo norte de la marina a sitios de ubicación de estructuras**

Se estima que el número total de diésel que será consumido por los winches para el transporte marino de las piezas que conformarán cada uno de los arrecifes artificiales, será de 724.12 como se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 8.** Estimación del número total de litros de diésel consumidos por los winches para el transporte marino de las piezas que conformarán los arrecifes artificiales.

Estructura	Piedras sobre chalán/viaje	Cantidad de piedras	Viajes	Diesel (l)/ida	Diesel (l)/regreso	Total/vuelta	l diésel
1	No se requiere	0	0	0	0	0	0
2	40	351	8.77	1.9	1.25	3.15	27.61
3	40	633	15.82	0.32	0.21	0.53	8.38
4	40	2,644	66.1	6.25	4.16	10.41	688.10
<b>Total</b>							<b>724.12</b>

Los motores de diésel emiten 2.79 kg de CO<sub>2</sub> por cada litro de diésel (OCCC 2011), entonces **en total se emitirán 2.02 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el transporte marino** de las piezas para la construcción de los arrecifes artificiales (estructuras de protección costera).

Como se puede ver en la tabla anterior, la construcción del arrecife artificial 1 (estructura 1) no requerirá transporte marino de las piezas a través de las plataformas movidas por los winches, ya que dicha estructura se encuentra muy próxima a la zona de playa.

### **II.2.8.1.2 Sustitución de estructuras impermeables por estructuras permeables o andadores piloteados**

#### **Retiro de material de espigones**

Como ya se describió anteriormente, el retiro de espigones consta de dos partes: 1) retiro de espigones y 2) transporte del material de espigones al Lote 17.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

1) Retiro de espigones. Para ello se usará una **retroexcavadora hidráulica CAT modelo 320**. La retroexcavadora trabajará 44 horas por semana. De acuerdo, con el Programa General de Trabajo, se tiene estimado un tiempo de trece semanas (tres meses) en total para el retiro de los espigones, por lo tanto, el número total de horas que trabajará la retroexcavadora es de 572 horas (*i.e.*, 44 horas/semana x 13 semanas = 572 horas). El consumo estimado de diésel por hora de trabajo de la retroexcavadora es de 18.92 litros (equivalente a 5 galones). Así, la cantidad total estimada de combustible necesario para el retiro de los espigones con retroexcavadora es de **10,822.24 litros de diésel** (*i.e.*, 572 horas x 18.92 l/hora = 10,822.24 l).

Como los motores de diésel emiten 2.79 kg de CO<sub>2</sub> por cada litro de diésel (OCCC 2011), entonces **en total se emitirán 30.19 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el retiro de los espigones** con retroexcavadora.

2) Transporte del material de espigones al Lote 17. Para ello se usará **camiones de volteo de 20 toneladas**. Se estima que el número total de kilómetros a recorrer para el transporte del material de los espigones, ida y vuelta, es de 168 km. Los camiones de volteo de 20 toneladas tienen un rendimiento aproximado de 4.2 km/l de diésel. De tal forma que, la cantidad total estimada de combustible necesario para el transporte terrestre del material de los espigones al Lote 17 es de **705.6 litros de diésel** (*i.e.*, 168 km x 4.2 km/l = 705.6 l).

**Tabla 9.** Estimación de la distancia que recorrerá el camión de volteo de 20 toneladas del área de espigones al Lote 17.

Estructura	Viajes	Distancia ida (km)	Distancia vuelta (km)	Distancia ida-vuelta (km)	No. de km recorridos	Rendimiento (km/l)
Espigón 1	20	1.55	1.55	3.1	62	
Espigón 2	20	1.4	1.4	2.8	56	
Espigón 3	20	1.25	1.25	2.5	50	
<b>Total</b>					<b>168</b>	<b>4.2</b>
<b>Número total de litros estimados para el transporte del material de los espigones al Lote 17</b>						<b>705.6</b>

Como los motores de diésel emiten 2.79 kg de CO<sub>2</sub> por cada litro de diésel (OCCC 2011), entonces en total **se emitirá 1.97 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por el transporte terrestre** del material de los espigones retirado al Lote 17.



### Hincado de pilotes

Para el hincado de pilotes se realizará la excavación para la colocación de cada pilote usando un: 1) demolidor neumático marca Bosch y, 2) un compresor Sullair.

Con respecto al **demolidor neumático** marca Bosh, se identificó que consume 1,900 Watts por hora (Wh) (<https://www.bosch-professional.com/py/es/products/gsh-27-0611304150>), que representa 0.0019 Mega Watts por hora (MWh). El martillo neumático trabajará por semana 44 horas, y de acuerdo, con el Programa General de Trabajo, esta labor tendrá un periodo de 13 semanas; en consecuencia, se estima que el martillo neumático trabaje en total 572 horas para la excavación del hincado de los pilotes.

De acuerdo con la CRE (2017), el Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (2017), es de 0.582 toneladas de CO<sub>2</sub> / MWh. Así que por cada hora de trabajo del demolidor neumático se producirán 0.0011058 toneladas de CO<sub>2</sub> (i.e., 0.0019 MWh x 0.582 ton CO<sub>2</sub>/MWh = 0.0010032 ton CO<sub>2</sub>). **Se estima que el demolidor neumático generó en total 0.57 toneladas de CO<sub>2</sub>** (i.e., 0.0010032 ton CO<sub>2</sub> x 572 horas = 0.57 ton CO<sub>2</sub>).

Con respecto al **compresor Sullair**, se identificó que consume 104 kilo Watts por hora (kWh) (<http://america.sullair.com/es/products/compresor-de-aire-portatil-serie-825>), que representa 0.000104 Mega Watts por hora (MWh). El compresor también trabajará por semana 44 horas, durante un periodo de 13 semanas, lo que da un total 572 horas que estará trabando el compresor.

El Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (CRE 2017), es de 0.582 toneladas de CO<sub>2</sub> / MWh. Así que por cada hora de trabajo del compresor se producirán 0.000054912 toneladas de CO<sub>2</sub> (i.e., 0.000104 MWh x 0.582 ton CO<sub>2</sub>/MWh = 0.000054912 ton CO<sub>2</sub>). **Se estima que el compresor generó en total 0.031 toneladas de CO<sub>2</sub>** (i.e., 0.000054912 ton CO<sub>2</sub> x 572 horas = 0.031 ton CO<sub>2</sub>).



**Figura 36.** Ejemplo de demoledor neumático y compresor a utilizar durante el hincado de pilotes.

### II.2.8.1.3 Regeneración del ancho de playa

#### Traslación de arena

Para la traslación de arena se usará una **bomba sumergible**, del cual se identificó que consume 37,000 Watts por hora (Wh) (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-efficiency-100hp-vertical-submersible-dredging-sand-sludge-pump-60811429865.html?spm=a2700.8699010.normalList.7.2adb2f59QUxhB6&s=p>), que representa 0.037 Mega Watts por hora (MWh). De acuerdo con el Programa General de Trabajo, la bomba trabajará por semana 44 horas, durante un periodo de 17 semanas (4 meses), lo que da un total 748 horas que estará trabando el compresor.

El Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional (CRE 2017), es de 0.582 toneladas de CO<sub>2</sub> / MWh. Así que por cada hora de trabajo del compresor se producirán 0.019536 toneladas de CO<sub>2</sub> (i.e., 0.037 MWh x 0.582 ton CO<sub>2</sub>/MWh = 0.019536 ton CO<sub>2</sub>). **Se estima que la bomba sumergible generará en total 14.61 toneladas de CO<sub>2</sub>** (i.e., 0.019536 ton CO<sub>2</sub> x 748 horas = 14.61 ton CO<sub>2</sub>).

### II.2.8.2 Estimación de la cantidad de energía disipada por el desarrollo del proyecto

Se estimó energía disipada por la realización del proyecto, para lo cual se tomó en cuenta que el litro de diésel ofrece una densidad volumétrica energética de 35.86 Megajulios (MJ). Mientras que 1 MegaWatt por hora ofrece 3,600 MJ. De esta manera, se estima que la **energía total disipada por la realización del proyecto es de 541,271.64 MJ**. Finalmente, **se estima que el proyecto emita 49.39 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera**. De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC 2016), reportó una emisión de 871,510 toneladas de CO<sub>2</sub> para el sector de construcción. De tal forma que las 49.39 toneladas de CO<sub>2</sub> que serían generadas por el desarrollo del presente proyecto representan 0.0057% del CO<sub>2</sub> que se generó en el sector de construcción de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INECC 2016).

**Tabla 10.** Energía disipada por la realización del proyecto.

Concepto	Litros Totales diésel	MW totales	Energía disipada (MJ)	ton CO <sub>2</sub>
Winches	724.12		25,967.30	2.02
Retroexcavadora	10,822.24		388,085.53	30.19
Camión de volteo	705.60		25,302.82	1.97
Demolidor neumático		1.09	2,052.00	0.57
Compresor		0.06	216.00	0.031
Bomba sumergible		27.68	99,648.00	14.61
<b>Total</b>			<b>541,271.64</b>	<b>49.39</b>

MG = MegaWatt; MJ = MegaJulios

35.86 MJ/L

3600 MJ/MWh

### II.3 Referencias

- Anfuso, G. 2004. Caracterización de celdas litorales en un tramo costero aparentemente homogéneo del litoral de Cádiz (so de España). Revista Cuaternario y Geomorfología, 18: 25-36.
- Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria, Marítima y Costera, A.C. (AMIP). S/F. Concepto de Celda Costera.
- Comisión Reguladora de Energía (CRE). 2017. Factor de emisión del sector eléctrico nacional. Disponible en: <[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor\\_de\\_Emisi\\_n\\_del\\_Sector\\_El\\_ctrico\\_Nacional\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_El_ctrico_Nacional_1.pdf)>.
- Guido, P., A. Ramírez, L. Godínez, S. Cruz y A. Juárez. 2009. Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. Avances en Recursos Hidráulicos, 20: 41-56.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2016. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI). Disponible en: <<https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei/resource/9ca6d31d-d4d2-4cee-a171-9c98c3447fe3>>.
- Kramer P, McField M, Álvarez-Filip L, Drysdale I, Rueda-Flores M, Giro A y Pott R. 2015. Reporte de la Salud Ecológica del Arrecife Mesoamericano 2015. Iniciativa Arrecifes Saludables ([www.arrecifessaludables.org](http://www.arrecifessaludables.org)).
- Oficina Catalana del Cambio Climático (OCCC). 2011. Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Disponible en: <[www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531](http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531)>.
- Real Academia Española (RAE). 2019. Baipás. Disponible en: <<https://dle.rae.es/?id=4nrzXt>>.
- Secretaría de Turismo (SECTUR). 2019. Glosario. Definición de Turismo. Disponible en: <[https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/Glosario.aspx#Glosario\\_T](https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/Glosario.aspx#Glosario_T)>.
- Wilson, J. D. 2005. Medidas de ahorro de combustible y de costos para armadores de pequeñas embarcaciones pesquera. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/009/x0487s/X0487S00.htm#TOC>>.

# CAPÍTULO III

VINCULACIÓN CON LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y  
ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES





**ÍNDICE**

<b>III. VINCULACIÓN CON LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES.....</b>	<b>4</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>4</b>
<b>III.1 Marco regulatorio.....</b>	<b>4</b>
<b>III.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente .....</b>	<b>5</b>
<b>III.1.1.1 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.....</b>	<b>9</b>
<b>III.1.2 Ley General de Vida Silvestre .....</b>	<b>14</b>
<b>III.1.3 Ley de Aguas Nacionales.....</b>	<b>16</b>
<b>III.1.4 Ley General de Cambio Climático.....</b>	<b>17</b>
<b>III.1.5 Ley General de Bienes Nacionales.....</b>	<b>20</b>
<b>III.1.5.1 Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar ..</b>	<b>22</b>
<b>III.1.6 Ley Federal de Mar.....</b>	<b>25</b>
<b>III.1.7 Ley de Vertimientos en Zonas Marinas Mexicanas .....</b>	<b>26</b>
<b>III.1.8 Ley Federal de Responsabilidad Ambiental .....</b>	<b>28</b>
<b>III.1.9 Normas Oficiales Mexicanas.....</b>	<b>32</b>
<b>III.2 Instrumentos de Planeación del Desarrollo .....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.1 Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.....</b>	<b>34</b>
<b>III.2.2 Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales .....</b>	<b>35</b>
<b>III.2.3 Programa Sectorial de Turismo 2013-2018 .....</b>	<b>41</b>
<b>III.2.4 Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 .....</b>	<b>47</b>
<b>III.2.5 Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022 .....</b>	<b>49</b>
<b>III.2.6 Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, Estado de Quintana Roo.....</b>	<b>55</b>
<b>III.3 Instrumentos de Ordenación Territorial y Desarrollo Urbano.....</b>	<b>56</b>



<b>III.3.1 Ordenamientos ecológicos.....</b>	<b>56</b>
<b>III.3.1.1 Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio .....</b>	<b>56</b>
<b>III.3.1.2 Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe .....</b>	<b>65</b>
<b>III.3.1.3 Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Denominada Corredor Cancún-Tulum .....</b>	<b>111</b>
<b>III.3.1.4 Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo.....</b>	<b>127</b>
<b>III.3.2 Desarrollo Urbano .....</b>	<b>164</b>
<b>III.3.2.1 Actualización del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Puerto Morelos, Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo 2008-2023.....</b>	<b>164</b>
<b>III.3.3 Áreas Naturales Protegidas .....</b>	<b>169</b>
<b>III.3.4 Regiones Prioritarias .....</b>	<b>195</b>
<b>III.3.4.1 Regiones Terrestres Prioritarias.....</b>	<b>196</b>
<b>III.3.4.2 Regiones Marinas Prioritarias.....</b>	<b>198</b>
<b>III.3.4.3 Regiones Hidrológicas Prioritarias .....</b>	<b>202</b>
<b>III.4 Tratados y convenciones internacionales .....</b>	<b>206</b>
<b>III. 4.1 Convenio sobre la Diversidad Biológica .....</b>	<b>208</b>
<b>III. 4.2 Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas .....</b>	<b>211</b>
<b>III. 4.3 Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas.....</b>	<b>215</b>
<b>III.4.4 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.....</b>	<b>217</b>
<b>III.5 Conclusiones .....</b>	<b>220</b>

F

### **III. VINCULACIÓN CON LOS INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES.**

#### **Antecedentes**

Tal y como fue señalado en el capítulo II, el presente manifiesto se presenta a fin de llevar a cabo diversas obras y actividades como parte del proceso de restauración /recuperación de playa, acto emanado del estudio de “Caracterización Oceanográfica y Dinámica Litoral”, elaborado para identificar las afectaciones ocasionadas por un proyecto al cual se le denominó “Espigones del Hotel El Cid de Cancún”, dichas estructuras se construyeron bajo la situación de emergencia generada por el huracán Willma en el área de estudio, pero que carecen del estudio de impacto ambiental respectivo. Es así que, como resultado de una visita de PROFEPA al sitio de interés, se verificó la presencia de 3 espigones, iniciándose el proceso administrativo correspondiente, dictándose la resolución administrativa: PFPC/4.1/2C.27.5/00004-18/015-19 (Anexo II.10), de fecha 10 de septiembre de 2019.

Es así que, para poder iniciar cualquier obra o actividad como las aquí señaladas, se requiere de la obtención de la autorización en materia de impacto ambiental a fin de dar cumplimiento con lo establecido por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) así como a la normatividad respectiva.

#### **III.1 Marco regulatorio**

México cuenta con un sistema jurídico federal, integrado por la Constitución, los tratados internacionales, las leyes federales y estatales, sus respectivos reglamentos y las normas oficiales mexicanas. Por lo que el desarrollo normativo en materia de protección y preservación del medio ambiente se apuntala la **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** (CPEUM), cuyo artículo 4º, párrafos quinto y sexto, respectivamente, **establecen el derecho de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. Así como la obligación del Estado de garantizar su respeto y la responsabilidad para quien provoque daño y/o deterioro ambiental.**<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, México, Diario Oficial de la Federación, 5 de febrero de 1917. Últimas reformas 27 de agosto de 2018.



También se reconoce el derecho de toda persona al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.<sup>2</sup>

En lo relativo al desarrollo nacional, el artículo 25 de la misma CPEUM establece que corresponde al Estado la rectoría del mismo para garantizar que sea integral y sostenible. A tales fines, planeará, conducirá, coordinará y orientará la actividad económica nacional, y llevará al cabo la regulación y fomento de las actividades que demande el interés general en el marco de libertades que otorga la propia Constitución. **Al desarrollo económico nacional concurrirán, con responsabilidad social, el sector público, el sector social y el sector privado, sin menoscabo de otras formas de actividad económica que contribuyan al desarrollo de la Nación.**<sup>3</sup>

Es importante señalar que a efecto de reglamentar estos mandatos constitucionales se han promulgado diversas leyes sectoriales a nivel federal, que se relacionan con la protección y preservación del ambiente se encuentran: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Ley de Aguas Nacionales, Ley General de Vida Silvestre, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Ley General de Bienes Nacionales, Ley Federal del Mar y, por citar algunas, Ley General de Cambio Climático y sus respectivos reglamentos. No obstante, este amplio marco normativo, este estudio hará referencia sólo a aquellas normas que tengan una relación más directa con el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, objeto de este manifiesto.

### III.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)<sup>4</sup> es reglamentaria de las disposiciones de la CPEUM que se refieren a la preservación y

---

<sup>2</sup> Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, México, Diario Oficial de la Federación, 5 de febrero de 1917. Últimas reformas 27 de agosto de 2018.

<sup>3</sup> Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, México, Diario Oficial de la Federación, 5 de febrero de 1917. Últimas reformas 27 de agosto de 2018.

<sup>4</sup> Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, México, Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988. Última reforma del 5 de junio de 2018.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Por tanto, se analiza su contenido en la tabla siguiente en donde se analiza la vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de la LGEEPA:

**Tabla 1.** Vinculación jurídica del proyecto, con las disposiciones de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 1. La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:</p>	
<p>I. Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar.</p>	<p>El proyecto plantea una recuperación de playas, mediante la instalación de tres Arrecifes Artificiales (AA) y andadores piloteados de madera, infraestructura que brindará una barrera como protección costera ante eventos climáticos como tormentas y huracanes, que generará oportunidades de desarrollo y bienestar para las personas a través del empleo.</p>
<p>V.- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas.</p>	<p>Con los arrecifes artificiales que se pretenden instalar se lograría disipar el desgaste de playa provocado por la erosión y energía del oleaje, además los AA permitirá preservar la vida marina y generar nuevas colonias de especies, considerando las medidas necesarias para llevar a cabo la preservación sustentable de los recursos naturales existentes en la zona.</p>
<p>Artículo 15. Para la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en</p>	





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el Ejecutivo Federal observará los siguientes principios:</p>	
<p>IV.- Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique. Asimismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente, promueva o realice acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y aprovecha de manera sustentable los recursos naturales.</p>	<p>En cumplimiento a este artículo, en este manifiesto se incluyeron diversas acciones y medidas para prevenir y mitigar los posibles impactos negativos que pudiera ocasionar sobre los ecosistemas, la operación del proyecto sujeto a evaluación, mismos que están contenidos en el Programa de Manejo Ambiental y sus subprogramas.</p>
<p>Artículo 28. La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:</p>	
<p>I.- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación.</p>	<p>El proyecto contempla la instalación de AA, relleno de playa y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, lo que se somete a evaluación la presente manifestación.</p>
<p>IX. Desarrollos inmobiliarios que afecten ecosistemas costeros.</p>	<p>contempla la instalación de AA relleno de playa y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, lo que se somete a evaluación la presente manifestación.</p>
<p>X. Obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, lagunas, ríos,</p>	<p>El proyecto implica obras en zonas federales, por lo que se somete a</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales.	evaluación de impacto ambiental, cubriendo con los requisitos técnicos y legales para ser evaluado.
Artículo 30. Para obtener la autorización a que se refiere el artículo 28 de la LGEEPA, los interesados deberán presentar a la SEMARNAT una manifestación de impacto ambiental, la cual deberá contener, por lo menos, una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.	El proyecto está organizado en un plan maestro de obras que busca lograr la sustentabilidad ambiental, propiciando el uso racional de los recursos naturales. Por lo que se somete a evaluación esta manifestación de impacto ambiental, la cual incluye la descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.
Artículo 88. Para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos se considerarán los siguientes criterios:	
IV. La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos es responsabilidad de sus usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos.	El objetivo del proyecto, es evitar que el área se siga erosionando pues las estructuras propuestas ayudarán a disipar la energía del oleaje en condiciones normales y de tormenta de manera que se proteja la playa frente a donde se ubicarán dichos arrecifes artificiales, al mismo tiempo que sirve como refugio de especies de flora y fauna marina.

### **III.1.1.1 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental**

El Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental<sup>5</sup> es de observancia general en todo el territorio nacional y en las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción; tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de evaluación del impacto ambiental a nivel federal. En la tabla siguiente, se lleva a cabo la vinculación jurídica del proyecto objeto de este manifiesto, con las disposiciones del Reglamento de la LGEEPA en materia del impacto ambiental:

**Tabla 2.** Vinculación jurídica con las disposiciones del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

<b>Precepto legal</b>	<b>Vinculación con el proyecto</b>
Artículo 5. Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:	
A) HIDRÁULICAS, fracción III: Proyectos de construcción de muelles, canales, escolleras, espigones, bordos, dársenas, represas, rompeolas, malecones, diques, varaderos y muros de contención de aguas nacionales, con excepción de los bordos de represamiento del agua con fines de abrevadero para el ganado, autoconsumo y riego local que no rebase 100 hectáreas.	El proyecto plantea la recuperación de playa, considerando para ello, además de la instalación de arrecifes artificiales como estructuras de protección, la sustitución de tres espigones por andadores piloteados de madera con el fin de permitir el flujo hídrico, así como la regeneración del ancho de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales y el relleno de playa.

<sup>5</sup> Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, México, Diario Oficial de la Federación, 30 de mayo de 2010. Última reforma 31 de octubre de 2014.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Q) DESARROLLOS INMOBILIARIOS QUE AFECTEN LOS ECOSISTEMAS COSTEROS:</p> <p>Construcción y operación de hoteles, condominios, villas, desarrollos habitacionales y urbanos, restaurantes, instalaciones de comercio y servicios en general, marinas, muelles, rompeolas, campos de golf, infraestructura turística o urbana, vías generales de comunicación, obras de restitución o recuperación de playas, o arrecifes artificiales, que afecte ecosistemas costeros.</p>	<p>El proyecto plantea la recuperación de playa, por medio de la instalación de estructuras en la zona marina, dichas estructuras serán arrecifes artificiales y andadores piloteados de madera con el fin de disminuir la fuerza del oleaje, permitir el transporte de sedimento a zonas contiguas, así como la regeneración del ancho de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales.</p>
<p>R) OBRAS Y ACTIVIDADES EN HUMEDALES, MANGLARES, LAGUNAS, RÍOS, LAGOS Y ESTEROS CONECTADOS CON EL MAR, ASÍ COMO EN SUS LITORALES O ZONAS FEDERALES:</p> <p>I. Cualquier tipo de obra civil, [...], y</p>	<p>El Proyecto es una obra civil con fines de conservación de playa ya que, estas estructuras tienen como finalidad el ayudar a evitar la erosión costera en el área.</p>
<p>Artículo 9. Los promoventes deberán presentar ante la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, en la modalidad que corresponda, para que ésta realice la evaluación del proyecto de la obra o actividad respecto de la que se solicita autorización.</p> <p>La información que contenga la manifestación de impacto ambiental deberá referirse a circunstancias ambientales relevantes vinculadas con la realización del proyecto.</p>	<p>Mediante el presente manifiesto de impacto ambiental en su modalidad Regional, promovido a efecto de ser evaluado por la Secretaría, cubre con lo determinado en dicho precepto legal.</p> <p>La información de este manifiesto se refiere a las circunstancias ambientales relevantes relacionadas con la realización del proyecto; así como a las medidas de mitigación y compensación propuestas para reducir los posibles impactos negativos que se pudieran causar.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 12. La manifestación de impacto ambiental, en su modalidad particular, deberá contener la siguiente información: I. Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental; II. Descripción del proyecto; III. Vinculación con los ordenamientos jurídicos aplicables en materia ambiental y, en su caso, con la regulación sobre uso del suelo; IV. Descripción del sistema ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el área de influencia del proyecto; V. Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales; VI. Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales; VII. Pronósticos ambientales y, en su caso, evaluación de alternativas, y VIII. Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan la información señalada en las fracciones anteriores.</p>	<p>El presente manifiesto de impacto ambiental, reúne todos y cada uno de los requisitos establecidos en este precepto, así como en la normatividad ambiental aplicable al proyecto que se vinculan en este capítulo.</p>
<p>Artículo 17. El promovente deberá presentar a la Secretaría la solicitud de autorización en materia de impacto ambiental, anexando: I. La manifestación de impacto ambiental; II. Un resumen del contenido de la manifestación de impacto ambiental, presentado en disquete, y III. Una</p>	<p>El promovente cumple cabalmente con el presente precepto, en relación a la presentación de la autorización en materia de impacto ambiental y sus documentos anexos.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>copia sellada de la constancia del pago de derechos correspondientes.</p>	
<p>Artículo 36. Quienes elaboren los estudios deberán observar lo establecido en la Ley, este reglamento, las normas oficiales mexicanas y los demás ordenamientos legales y reglamentarios aplicables. Asimismo, declararán, bajo protesta de decir verdad, que los resultados se obtuvieron a través de la aplicación de las mejores técnicas y metodologías comúnmente utilizadas por la comunidad científica del país y del uso de la mayor información disponible, y que las medidas de prevención y mitigación sugeridas son las más efectivas para atenuar los impactos ambientales. La responsabilidad respecto del contenido del documento corresponderá al prestador de servicios o, en su caso, a quien lo suscriba. Si se comprueba que en la elaboración de los documentos en cuestión la información es falsa, el responsable será sancionado de conformidad con el Capítulo IV del Título Sexto de la Ley, sin perjuicio de las sanciones que resulten de la aplicación de otras disposiciones jurídicas relacionadas.</p>	<p>A causa del deterioro de los arrecifes coralinos en años recientes que ha sido una situación alarmante, se ha detectado una alta incidencia de proyectos de protección costera que se están implementando en la zona marino-costera en el litoral de Quintana Roo, con la finalidad de crear y restaurar el servicio de protección costera y minimizar el riesgo contra la erosión y energía del oleaje; por lo que bajo este esquema se tiene la intención de ejecutar un proyecto de recuperación de playa que siga criterios ambientales estrictos que permitan orientar el diseño y desempeño bajo esquemas de sustentabilidad ambiental, por lo cual, los resultados obtenidos de todas las pruebas serán verídicos y contemplando el análisis de la normatividad aplicable al sitio del proyecto.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 44. Al evaluar las manifestaciones de impacto ambiental la Secretaría deberá considerar:</p>	
<p>I. Los posibles efectos de las obras o actividades a desarrollarse en el o los ecosistemas de que se trate, tomando en cuenta el conjunto de elementos que los conforman, y no únicamente los recursos que fuesen objeto de aprovechamiento o afectación;</p>	<p>En este manifiesto se realiza la descripción de los posibles efectos al ambiente de las obras y actividades que conforman al proyecto. Así como aquellas medidas para contrarrestar o evitar posibles afectaciones, contenidas en el Programa de Manejo Ambiental.</p>
<p>II. La utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos.</p>	<p>Este proyecto promueve ante todo la intención de conservar la playa, evitar la erosión costera y ayudar al ecosistema de la zona por medio de la instalación de AA, relleno de playa la sustitución de tres espigones por andadores de madera.</p>
<p>III. En su caso, la Secretaría podrá considerar las medidas preventivas, de mitigación y las demás que sean propuestas de manera voluntaria por el solicitante, para evitar o reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.</p>	<p>El proyecto promueve una serie de medidas preventivas y de mitigación a efecto de reducir al mínimo los impactos negativos que el proyecto pudiera ocasionar sobre el ambiente dentro del Programa de Manejo Ambiental, de igual manera, se propone evaluar las medidas y mejoras que la autoridad considere pertinentes para determinar la factibilidad del proyecto.</p>
<p>Artículo 49. Las autorizaciones que expida la Secretaría sólo podrán referirse a los aspectos ambientales de las obras o actividades de que se trate y su vigencia no podrá exceder del tiempo propuesto para la ejecución de éstas.</p>	<p>La elaboración del presente manifiesto atiende a los instrumentos normativos y de planeación ambientales aplicables al proyecto y en caso de ser autorizado, se atenderá en tiempo y forma su ejecución.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
Asimismo, los promoventes deberán dar aviso a la Secretaría del inicio y la conclusión de los proyectos, así como del cambio en su titularidad.	El promovente se compromete a dar aviso a la Secretaría del inicio y conclusión del proyecto, así como, en su caso, del cambio en su titularidad.

### III.1.2 Ley General de Vida Silvestre

La Ley General de Vida Silvestre (LGVS)<sup>6</sup>, es de orden público y de interés social, reglamentaria del párrafo tercero del artículo 27 y de la fracción XXIX, inciso G del artículo 73 constitucionales. Conforme a su artículo primero la LGVS tiene por objeto el establecer la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, relativa a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana y en las zonas en donde la Nación ejerce su jurisdicción. En consecuencia, se realiza en la tabla siguiente la vinculación del proyecto con las disposiciones de esta ley que le son aplicables:

**Tabla 3.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de la Ley General de Vida Silvestre.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
Artículo 5. El objetivo de la política nacional en materia de vida silvestre y su hábitat, es su conservación mediante la protección y la exigencia de niveles óptimos de aprovechamiento sustentable, de modo que simultáneamente se logre mantener y promover la restauración de su diversidad e integridad, así como incrementar el bienestar de los habitantes del país.	El objetivo del proyecto es evitar la erosión costera, mediante la instalación de AA y andadores piloteados de madera, para generar la acumulación de sedimentos en la zona de playa y evitar su erosión, además la regeneración del ancho de la playa, por medio de relleno de arena, con lo que se propiciará tener un hábitat más adecuado para la anidación de tortugas. Asimismo, los

<sup>6</sup> Ley General de Vida Silvestre, México, Diario Oficial de la Federación, 3 de julio de 2000. Última Reforma 19 de enero de 2018.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
	AA servirán para el establecimiento de diferentes formas de vida.
<p>Artículo 15. La Secretaría promoverá la participación de todas las personas y sectores involucrados en la formulación y aplicación de las medidas para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre que estén dentro del ámbito de su competencia.</p>	<p>El objetivo del proyecto es evitar la erosión costera, mediante la instalación de AA y andadores piloteados de madera, para generar la acumulación de sedimentos en la zona de playa y evitar su erosión, además la regeneración del ancho de la playa, por medio de relleno de arena, con lo que se propiciará tener un hábitat más adecuado para la anidación de tortugas. Asimismo, los AA servirán para el establecimiento de diferentes formas de vida.</p>
<p>Artículo 18. Los propietarios y legítimos poseedores de predios en donde se distribuye la vida silvestre, tendrán el derecho a realizar su aprovechamiento sustentable y la obligación de contribuir a conservar el hábitat conforme a lo establecido en la presente Ley; asimismo podrán transferir esta prerrogativa a terceros, conservando el derecho a participar de los beneficios que se deriven de dicho aprovechamiento. Los propietarios y legítimos poseedores de dichos predios, así como los terceros que realicen el aprovechamiento, serán responsables solidarios de los efectos negativos que éste pudiera tener para la conservación de la vida silvestre y su hábitat.</p>	<p>Mediante el presente estudio, se realizó la caracterización de especies ubicadas en el sitio del proyecto, con la finalidad de evitar afectaciones, por lo que, mediante el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, el promovente pretende proteger y conservar el mayor grado de especies posibles, mediante una metodología especializada.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 63. La conservación del hábitat natural de la vida silvestre es de interés público. Los hábitats críticos para la conservación de la vida silvestre son áreas específicas terrestres o acuáticas, en las que ocurren procesos biológicos, físicos y químicos esenciales, ya sea para la supervivencia de especies en categoría de riesgo, ya sea para una especie, o para una de sus poblaciones, y que por tanto requieren manejo y protección especial. Son áreas que regularmente son utilizadas para alimentación, depredación, forrajeo, descanso, crianza o reproducción, o rutas de migración.</p>	<p>Mediante la realización del presente estudio, se tomó en cuenta que la ubicación en donde se encuentra el proyecto es de gran importancia tanto a nivel nacional como internacional, debido a que la región es rica en biodiversidad, por lo que bajo ese precepto se desarrolló el Programa de Manejo Ambiental, mismo que tiene como finalidad reducir al mínimo los efectos negativos de la realización del proyecto en el sitio y su posible afectación en la región, siguiendo la premisa de conservación del hábitat natural.</p>

### III.1.3 Ley de Aguas Nacionales

La Ley de Aguas Nacionales (LAN)<sup>7</sup> es reglamentaria del Artículo 27 de la CPEUM en materia de aguas nacionales, es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable<sup>8</sup>. Por lo que en la tabla siguiente se analiza su contenido y realiza la vinculación del proyecto con las disposiciones que le son aplicables:

<sup>7</sup> Ley de Aguas Nacionales, México, Diario Oficial de la Federación, 1 de diciembre de 1992. Última Reforma 24 marzo de 2016.

<sup>8</sup> LAN, artículo 1.





**Tabla 4.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de la LAN.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 16. La presente Ley establece las reglas y condiciones para el otorgamiento de las concesiones para explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, en cumplimiento a lo dispuesto en el Párrafo Sexto del Artículo 27 Constitucional.</p> <p>El régimen de propiedad nacional de las aguas subsistirá aun cuando las aguas, mediante la construcción de obras, sean desviadas del cauce o vaso originales, se impida su afluencia a ellos o sean objeto de tratamiento.</p>	<p>Debido a que el proyecto se planea realizar completamente en zona marina, se atiende la influencia que él ejercerá, en la zona, por lo que se realizaron los estudios técnicos necesarios, mismos que determinan que la presencia de los AA y los andadores piloteados de madera no generarán afectación en la hidrología de la dinámica costera, sino que se protegerá a la playa del proceso de erosión que sufre.</p>
<p>Artículo 100. "La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o ponga en peligro la vida de las personas y la seguridad de sus bienes o de los ecosistemas vitales.</p>	<p>El objetivo del proyecto es crear una barrera que proteja al ecosistema costero y reducir la erosión costera por el movimiento del mar y por eventos climáticos.</p>

#### III.1.4 Ley General de Cambio Climático

La Ley General de Cambio Climático<sup>9</sup> (LGCC) es de orden público, interés general y observancia en todo el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción y establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. Es reglamentaria de las disposiciones de la CPEUM en materia de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación

<sup>9</sup> Ley General de Cambio Climático, México, Diario Oficial de la Federación, 6 de junio de 2012. Última reforma del 13 de julio de 2018.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

y restauración del equilibrio ecológico<sup>10</sup>. Por lo que en la tabla siguiente se realiza la vinculación del proyecto con las disposiciones de la LGCC que le son aplicables:

**Tabla 5.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de la Ley General de Cambio Climático.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 2. Esta ley tiene por objeto:</p> <p>IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno.</p>	<p>El proyecto tiene como finalidad la protección de los ecosistemas marinos y evitar la erosión costera, ocasionada por el movimiento de las corrientes marinas y fenómenos climáticos, que han aumentado su intensidad en la última década.</p>
<p>Artículo 26. En la formulación de la política nacional de cambio climático se observarán los principios de:</p>	
<p>II. Corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad en general, en la realización de acciones para la mitigación y adaptación a los efectos adversos del cambio climático.</p>	<p>En concordancia con lo establecido en dicho precepto legal, el promovente es consciente de su corresponsabilidad en materia de cambio climático, es por eso que una de las finalidades del proyecto es evitar el deterioro de la zona costera, causado por el aumento de intensidad de los fenómenos meteorológicos, preservando el ecosistema marino y sus costas. Considerado por la LGCC como acción de adaptación.</p>
<p>VIII. Responsabilidad ambiental, quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente, estará obligado a prevenir, minimizar, mitigar, reparar, restaurar y, en última instancia, a la compensación de los daños que cause;</p>	<p>Para la integración del presente manifiesto, el promovente ha realizado una serie de estudios orientados a identificar los posibles impactos ambientales, a efecto de implementar acciones de prevención, minimización, mitigación y, en su caso la</p>

<sup>10</sup> LGCC, artículo 1.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
	compensación correspondiente contenidas en el Programa de Manejo Ambiental.
XI. Conservación de los ecosistemas y su biodiversidad, dando prioridad a los humedales, manglares, arrecifes, dunas, zonas y lagunas costeras, que brindan servicios ambientales, fundamental para reducir la vulnerabilidad.	El promovente tiene como uno de sus ejes de actuación mantener y conservar los ecosistemas y su biodiversidad, al momento de la realización del proyecto, a través del Programa de Manejo Ambiental y sus subprogramas. En el sitio del proyecto no hay presencia de humedales, manglares, arrecifes, dunas, zonas y lagunas costeras, que brindan servicios ambientales.
Artículo 29. Se considerarán acciones de adaptación:	
IV. La conservación, el aprovechamiento sustentable, rehabilitación de playas, costas, zona federal marítimo terrestre, terrenos ganados al mar y cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas para uso turístico, industrial, agrícola, pesquero, acuícola o de conservación;	Uno de los objetivos del proyecto es la rehabilitación de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, la cual ha sido afectada por la erosión del mar, por lo que la naturaleza del proyecto está cataloga por la LGCC como una acción de adaptación.
VI. La construcción y mantenimiento de infraestructura;	En el marco del desarrollo sustentable y el establecimiento de medidas de adaptación, el proyecto contempla la instalación de AA y de andadores piloteados de madera, así como su mantenimiento, el cual será en caso de un evento climático que pudiera afectar la infraestructura colocada.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 34. Para reducir las emisiones, las dependencias y entidades de la administración pública federal, las Entidades Federativas y los Municipios, en el ámbito de su competencia, promoverán el diseño y la elaboración de políticas y acciones de mitigación asociadas a los sectores correspondientes, considerando las disposiciones siguientes:</p> <p>III. Reducción de emisiones y captura de carbono en el sector de agricultura, bosques y otros usos del suelo y preservación de los ecosistemas y la biodiversidad:</p> <p>d) Fortalecer los esquemas de manejo sustentable y la restauración de bosques, selvas, humedales y ecosistemas costero-marinos, en particular los manglares y los arrecifes de coral.</p>	<p>Dado que el área del proyecto se encuentra en un ecosistema costero-marino, y en aras de dar cumplimiento a este mandato legal, el promovente tiene proyectada la implementación de un Programa de Manejo Ambiental, para reducir los impactos ambientales que puedan ser generados por el proyecto, asimismo la maquinaria que será utilizada para el traslado de los AA provendrán de empresas que puedan acreditar las buenas condiciones de las mismas.</p>

### III.1.5 Ley General de Bienes Nacionales

La Ley General de Bienes Nacionales (LGBN)<sup>11</sup>, es de orden público e interés general y tiene por objeto establecer, entre otras, los bienes que constituyen el patrimonio de la Nación. De manera que en la tabla siguiente se analiza su contenido y se detalla la vinculación jurídica de sus disposiciones y el proyecto sujeto a evaluación:

<sup>11</sup> Ley General de Bienes Nacionales, México, Diario Oficial de la Federación, 20 de mayo de 2004. Última reforma del 19 de enero de 2018.



**Tabla 6.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de LA Ley General de Bienes Nacionales.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
Artículo 6. Están sujetos al régimen de dominio público de la Federación:	
<p>I. Los bienes señalados en los artículos 27, párrafos cuarto, quinto y octavo; 42, fracción IV, y 132 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;</p> <p>II. Los bienes de uso común a que se refiere el artículo 7 de esta Ley.</p>	<p>Las obras que componen al proyecto se realizarán, en caso de ser autorizadas, en área marina y dentro de la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZFMT), los cuales constituyen bienes de uso común; por lo que están sujetos al régimen de dominio público de la Federación. Misma zona federal que actualmente, el promovente goza de su aprovechamiento.</p>
Artículo 7. Son bienes de uso común:	
<p>III. El mar territorial en la anchura que fije la Ley Federal del Mar;</p> <p>IV. Las playas marítimas, entendiéndose por tales las partes de tierra que por virtud de la marea cubre y descubre el agua, desde los límites de mayor reflujo hasta los límites de mayor flujo anuales;</p> <p>V. La zona federal marítimo terrestre;</p>	<p>Como se mencionó en el apartado anterior, las obras que componen al proyecto se realizarán en la zona marina y la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales; por lo que están sujetos al régimen de dominio público de la Federación. Dicha ZFMT, cuenta con el permiso correspondiente que abarca las obras contempladas en el presente proyecto.</p>
<p>Artículo 8. Todos los habitantes de la República pueden usar los bienes de uso común, sin más restricciones que las establecidas por las leyes y reglamentos administrativos.</p> <p>Para aprovechamientos especiales sobre los bienes de uso común, se requiere concesión, autorización o permiso otorgados con las condiciones y requisitos que establezcan las leyes.</p>	<p>El proyecto materia del presente manifiesto, contendrá obras dentro de la ZFMT, misma que cuenta con la autorización correspondiente que abarca las obras contempladas en el presente proyecto.</p>



**III.1.5.1 Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar**

El Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar (RUAMTVNPZFMTTGM)<sup>12</sup>, tiene por objeto conforme a su artículo primero, proveer, en la esfera administrativa, al cumplimiento de las Leyes General de Bienes Nacionales, de Navegación y Comercio Marítimos y de Vías Generales de Comunicación en lo que se refiere al uso, aprovechamiento, control, administración, inspección y vigilancia de las playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas y de los bienes que formen parte de los recintos portuarios que estén destinados para instalaciones y obras marítimo portuarias, por lo que en la tabla siguiente se analiza su contenido y se detalla la vinculación jurídica de sus disposiciones con el proyecto sujeto a evaluación:

**Tabla 7.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones del Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 3.- La zona federal marítimo terrestre se deslindará y delimitará considerando la cota de pleamar máxima observada durante treinta días consecutivos en una época del año en que no se presenten huracanes, ciclones o vientos de gran intensidad y sea técnicamente propicia para realizar los trabajos de delimitación.</p>	<p>Tal y como se muestra en el presente manifiesto, se tiene plenamente identificada la delimitación de la ZFMT, así como las obras del proyecto que recaigan en ella.</p>

<sup>12</sup> Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar, México, Diario Oficial de la Federación, 21 de agosto de 1991.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
Artículo 29.- Los concesionarios de la zona federal marítimo terrestre, de los terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas, están obligados a:	
I. Ejecutar únicamente el uso, aprovechamiento o explotación consignado en la concesión.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal, respetando los alcances contenidos en su permiso de la ZFMT.
III. Iniciar las obras que se aprueben, dentro de los plazos previstos en la concesión, comunicando a la Secretaría de la conclusión dentro de los tres días hábiles siguientes.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal y de las acciones que deberá tomar una vez que se inicien las obras dentro de la ZFMT.
VII. Cumplir con los ordenamientos y disposiciones legales y administrativas de carácter federal, estatal o municipal.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal.
IX. Realizar únicamente las obras aprobadas en la concesión, o las autorizadas posteriormente por la Secretaría.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal.
Artículo 47.- Son causas de revocación de las concesiones o permisos otorgados, las siguientes:	
II. Dar al área concesionada o permitida un uso, aprovechamiento o explotación distinto a los aprobados; o no hacer uso del área concesionada o permitida en un término de noventa días hábiles contados a partir de la fecha de su expedición.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal.
III. Realizar actividades u obras no previstas en la concesión o permisos sin obtener previamente, cuando proceda la autorización de la Secretaría.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
IX. Cualquier violación o incumplimiento por parte del concesionario o permisionario de las disposiciones legales o reglamentarias, o de las condiciones establecidas en la concesión o permiso.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal y velará por su pleno cumplimiento.
Artículo 74.- Son infracciones para los efectos del Capítulo II de este Reglamento las siguientes:	
I. Usar, aprovechar o explotar la zona federal marítimo terrestre, los terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito que se forme con aguas marítimas, en contravención a lo dispuesto en la Ley y sus reglamentos y a las condiciones establecidas en las concesiones, permisos o autorizaciones otorgadas.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal, actuando únicamente bajo los alcances de su permiso de ZFMT.
IV. Realizar obras o ejecutar actos que contravengan las disposiciones legales, reglamentarias o administrativas o las condiciones establecidas en las concesiones o permisos.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal y velará por su pleno cumplimiento.
V. No mantener en condiciones de higiene las áreas concesionadas o permisionadas o las playas marítimas contiguas.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal y velará por su pleno cumplimiento.
VI. Obstruir o impedir el libre acceso o tránsito a las playas marítimas en contravención a lo dispuesto en el presente Reglamento.	El promovente es plenamente consciente de dicho precepto legal y velará por su pleno cumplimiento.

### III.1.6 Ley Federal de Mar

La Ley Federal del Mar (LFM)<sup>13</sup> es reglamentaria de los párrafos cuarto, quinto, sexto y octavo del artículo 27 de la CPEUM, en lo relativo a las zonas marinas mexicanas, por lo que en la tabla siguiente se analiza su contenido y se detalla la vinculación jurídica de sus disposiciones con el proyecto sujeto a evaluación:

**Tabla 8.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de la Ley Federal del Mar.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 2. La presente Ley es de jurisdicción federal, rige en las zonas marinas que forman parte del territorio nacional y, en lo aplicable, más allá de éste en las zonas marinas donde la Nación ejerce derechos de soberanía, jurisdicciones y otros derechos. Sus disposiciones son de orden público, en el marco del sistema nacional de planeación democrática.</p>	<p>El proyecto objeto de este estudio recae en aguas marinas interiores.</p>
<p>Artículo 3. Las zonas marinas mexicanas son:</p> <p>a) El Mar Territorial, que tiene una anchura de 12 millas marinas (22,224 metros), medidas a partir de líneas de base, sean normales o rectas, o una combinación de las mismas, determinadas de conformidad con las disposiciones del Reglamento de la presente Ley.</p> <p>b) Las Aguas Marinas Interiores, Son aguas Marinas Interiores aquellas comprendidas entre la costa y las líneas de base, normales o rectas, a partir de</p>	<p>El proyecto objeto de este estudio se encuentra en las aguas consideradas como zonas marinas interiores</p>

<sup>13</sup> Ley Federal del Mar, México, Diario Oficial de la Federación, 8 de enero de 1986. Fe de erratas del 9 de enero de 1986.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>las cuales se mide el Mar Territorial, de conformidad con las disposiciones pertinentes del Reglamento de la presente Ley y que incluyen:</p> <p>I.- La parte norte del Golfo de California;</p> <p>II.- Las de las bahías internas;</p> <p>III.- Las de los puertos;</p> <p>IV.- Las internas de los arrecifes; y</p> <p>V.- Las de las desembocaduras o deltas de los ríos, lagunas y estuarios comunicados permanente o intermitentemente con el mar.</p>	
<p>Artículo 21. En el ejercicio de los poderes, derechos, jurisdicciones y competencias de la Nación dentro de las zonas marinas mexicanas, se aplicarán la Ley Federal de Protección al Ambiente, la Ley General de Salud, y sus respectivos Reglamentos, la Ley Federal de Aguas y demás leyes y reglamentos aplicables vigentes o que se adopten, incluidos la presente Ley, su reglamento y las normas pertinentes del derecho internacional para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino.</p>	<p>Para la realización del presente manifiesto, el promovente consideró todas las disposiciones jurídicas aplicables, entre ellas, la LGEEPA, la LAN y sus respectivos reglamentos.</p>

### III.1.7 Ley de Vertimientos en Zonas Marinas Mexicanas

La Ley de Vertimientos en Zonas Marinas Mexicanas (LVZMM)<sup>14</sup>, es de jurisdicción federal, sus disposiciones son de orden público y tienen por objeto el control y la

<sup>14</sup> Ley de Vertimientos en Zonas Marinas Mexicanas, México, Diario Oficial de la Federación, 17 de enero de 2014.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

prevención de la contaminación o alteración del mar por vertimientos en las zonas marinas mexicanas. En consecuencia, en la tabla siguiente se analiza su contenido y realiza la vinculación jurídica con el proyecto sujeto a evaluación:

**Tabla 9.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de la Ley de Vertimientos en Zonas Marinas Mexicanas.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
Artículo 3. Es vertimiento en las zonas marinas mexicanas, cualquiera de los supuestos siguientes:	
VI. La colocación de materiales u objetos de cualquier naturaleza, con el objeto de crear, entre otras, muelles, espigones, escolleras, o cualquier otra estructura.	El proyecto comprende la colocación de infraestructura, que tiene como finalidad evitar la erosión costera, a través de la disipación de la energía del oleaje lo que permitirá la acumulación de sedimentos y distribución de éstos en la zona.
Artículo 18. La Secretaría otorgará permiso para vertimiento a personas físicas o morales de nacionalidad mexicana o extranjeras, previo el cumplimiento de los requisitos que se establecen en la presente Ley, conforme a las Normas Oficiales Mexicanas, o en su caso, en función de la evaluación de los resultados de los estudios técnicos e información científica aplicable en la materia, que deberá presentar el interesado.	El proyecto no contempla el vertimiento de ningún tipo de sustancia o residuo en el mar. Sin embargo, en el Subprograma de Acciones Independientes, se contemplan medidas, para evitar vertimientos no controlados al mar, al momento de la realización y operación del proyecto.

### III.1.8 Ley Federal de Responsabilidad Ambiental

La Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (LFRA)<sup>15</sup> regula la responsabilidad ambiental que nace de los daños ocasionados al ambiente, así como la reparación y compensación de dichos daños cuando sea exigible a través de los procesos judiciales federales previstos por el artículo 17 constitucional, los mecanismos alternativos de solución de controversias, los procedimientos administrativos y aquellos que correspondan a la comisión de delitos contra el ambiente y la gestión ambiental.

Los preceptos de este ordenamiento son reglamentarios del artículo 4o. Constitucional, de orden público e interés social y tienen por objeto la protección, la preservación y restauración del ambiente y el equilibrio ecológico, para garantizar los derechos humanos a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de toda persona, y a la responsabilidad generada por el daño y el deterioro ambiental.

El régimen de responsabilidad ambiental reconoce que el daño ocasionado al ambiente es independiente del daño patrimonial sufrido por los propietarios de los elementos y recursos naturales. Reconoce que el desarrollo nacional sustentable debe considerar los valores económicos, sociales y ambientales.

La presente manifestación de impacto ambiental regional del proyecto, asume que sus obras y actividades pueden causar algún daño ambiental, por lo que ha establecido las medidas de prevención y mitigación correspondientes a efecto de minimizar dichos impactos. Además, el promovente prevé dar cabal cumplimiento a lo establecido en toda la normatividad ambiental aplicable que se relacione con la construcción y operación de las obras del proyecto.

Una vez obtenida la autorización en materia de impacto ambiental, se cumplirá con todas y cada uno de los términos y condicionantes establecidos en ella, garantizando que no se provocaran daños ambientales que no puedan ser previstos, mitigados y/o" compensados. En la tabla siguiente se realiza la vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de esta ley.

---

<sup>15</sup> Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, México, Diario Oficial de la Federación, 7 de junio de 2013.

**Tabla 10.** Vinculación jurídica del proyecto con las disposiciones de la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 2. Para los efectos de esta Ley se estará a las siguientes definiciones, así como aquellas previstas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, las Leyes ambientales y los tratados internacionales de los que México sea Parte. Se entiende por:</p>	
<p>III. Daño al ambiente: Pérdida, cambio, deterioro, menoscabo, afectación o modificación adversos y mensurables del hábitat, de los ecosistemas, de los elementos y recursos naturales, de sus condiciones químicas, físicas o biológicas, de las relaciones de interacción que se dan entre éstos, así como de los servicios ambientales que proporcionan. Para esta definición se estará a lo dispuesto por el artículo 6° de esta Ley.</p>	<p>El promovente ha procedido a identificar todos los posibles impactos ambientales que podrían ocasionarse por la realización del proyecto; así como al establecimiento de medidas de protección, prevención y mitigación correspondientes, ello a efecto de encuadrar en lo dispuesto en el artículo 6° de esta Ley.</p>
<p>Artículo 6. No se considerará que existe daño al ambiente cuando los menoscabos, pérdidas, afectaciones, modificaciones o deterioros no sean adversos en virtud de: I. Haber sido expresamente manifestados por el responsable y explícitamente identificados, delimitados en su alcance, evaluados, mitigados y compensados mediante condicionantes, y autorizados por la Secretaría, previamente a la realización de la conducta que los origina, mediante la evaluación del impacto ambiental o su informe preventivo, la autorización de cambio</p>	<p>El promovente, mediante el presente manifiesto, describe los posibles impactos identificados por la realización del proyecto; así como las medidas de prevención y mitigación correspondientes a efecto de evitar causar daño al ambiente, contenidas dentro del Programa de Manejo Ambiental y sus subprogramas, para dar cabal cumplimiento en lo establecido en el presente precepto.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
de uso de suelo forestal o algún otro tipo de autorización análoga expedida por la Secretaría; o de que, II. No rebasen los límites previstos por las disposiciones que en su caso prevean las Leyes ambientales o las normas oficiales mexicanas. La excepción prevista por la fracción I del presente artículo no operará, cuando se incumplan los términos o condiciones de la autorización expedida por la autoridad.	
<p>Artículo 10. Toda persona física o moral que con su acción u omisión ocasione directa o indirectamente un daño al ambiente, será responsable y estará obligada a la reparación de los daños, o bien, cuando la reparación no sea posible a la compensación ambiental que proceda, en los términos de la presente Ley.</p> <p>De la misma forma estará obligada a realizar las acciones necesarias para evitar que se incremente el daño ocasionado al ambiente.</p>	<p>El promovente, como persona moral, realiza el presente manifiesto de impacto ambiental a efecto de cumplir con la normatividad ambiental. A tales fines, identifica los posibles impactos a producirse por la realización del proyecto, así como las medidas de prevención y mitigación conducentes, mismas que integran el Programa de Manejo Ambiental</p>
<p>Artículo 13. La reparación de los daños ocasionados al ambiente consistirá en restituir a su Estado Base los hábitats, los ecosistemas, los elementos y recursos naturales, sus condiciones químicas, físicas o biológicas y las relaciones de interacción que se dan entre estos, así como los servicios ambientales que proporcionan, mediante la restauración, restablecimiento,</p>	<p>El promovente ha llevado a cabo los estudios de caracterización del ecosistema y biodiversidad existentes en el sitio del proyecto, para tener información respecto de las condiciones y servicios ambientales que guardan y prestan:</p> <p>Si bien el proyecto ha realizado las acciones orientadas a prevenir y, en su</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>tratamiento, recuperación o remediación.</p> <p>La reparación deberá llevarse a cabo en el lugar en el que fue producido el daño. Los propietarios o poseedores de los inmuebles en los que se haya ocasionado un daño al ambiente, deberán permitir su reparación, de conformidad a esta Ley.</p> <p>El incumplimiento a dicha obligación dará lugar a la imposición de medios de apremio y a la responsabilidad penal que corresponda. Los propietarios y poseedores que resulten afectados por las acciones de reparación del daño al ambiente producido por terceros, tendrán derecho de repetir respecto a la persona que resulte responsable por los daños y perjuicios que se les ocasionen.</p>	<p>caso, mitigar los impactos ambientales, tal como se evidencia a través de este manifiesto, la información recabada permite tener información de base para, en su caso, proceder a la remediación.</p>
<p>Artículo 15. La compensación ambiental podrá ser total o parcial. En este último caso, la misma será fijada en la proporción en que no haya sido posible restaurar, restablecer, recuperar o remediar el bien, las condiciones o relación de interacción de los elementos naturales dañados.</p>	<p>Las acciones previstas por el promovente en la realización del proyecto están orientadas a la prevención y minimización de los impactos ambientales, por lo que se someten a evaluación mediante la presentación de este manifiesto. Sin embargo, si como resultado del procedimiento procesal respectivo es necesario proceder a la compensación, el promovente está dispuesto a llevarla a cabo.</p>



### III.1.9 Normas Oficiales Mexicanas

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN), regirá en toda la República y sus disposiciones son de orden público e interés social. Su aplicación y vigilancia corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de las dependencias de la administración pública federal que tengan competencia en las materias reguladas en este ordenamiento.

Tiene por objeto, entre otras, en su fracción II: a) Fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas; b) Instituir la Comisión Nacional de Normalización para que coadyuve en las actividades que sobre normalización corresponde realizar a las distintas dependencias de la administración pública federal; c) Establecer un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal; d) Promover la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas; e) Coordinar las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de administración pública federal; f) Establecer el sistema nacional de acreditamiento de organismos de normalización y de certificación, unidades de verificación y de laboratorios de prueba y de calibración; y g) En general, divulgar las acciones de normalización y demás actividades relacionadas con la materia.<sup>16</sup>

De conformidad con la LFMN, una norma oficial mexicana (NOM) es: la regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias competentes, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación. En tal sentido, se realiza en la tabla siguiente la vinculación del proyecto con las NOMs que le son aplicables.

---

<sup>16</sup> Artículo 2, fracción II, *Ley Federal sobre Metrología y Normalización*, México, Diario Oficial de la Federación, 1 de julio de 1992. Última reforma del 15 de junio de 2018.



**Tabla 11.** Vinculación jurídica del proyecto con las normas oficiales mexicanas.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>NOM-022-SEMARNAT-2003.<sup>17</sup> Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.</p>	<p>La región en donde se encuentra el proyecto, tiene gran relevancia por las zonas de manglar, sin embargo, el proyecto no generará ninguna afectación a manglares y humedales cercanos y en el sitio no hay presencia de ellos.</p>
<p>NOM-041-SEMARNAT-2015.<sup>18</sup> Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.</p>	<p>El promovente previendo posibles afectaciones, se compromete a contratar con empresas que puedan comprobar las buenas condiciones de la maquinaria, con el fin de evitar afectaciones por emisión de gases contaminantes.</p>
<p>NOM-052-SEMARNAT-2005.<sup>19</sup> Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos.</p>	<p>Para la realización del proyecto no se generarán residuos peligrosos.</p>
<p>NOM-059-SEMARNAT-2010.<sup>20</sup> Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.</p>	<p>En todo el estudio que se llevó a cabo para la caracterización biológica marina para el proyecto, se registró un total de seis especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación del anexo III de la misma. Cinco de esas especies bajo la categoría de Protección especial (<i>Plexaura homomalla</i>, <i>Plexaurella dichotoma</i>, <i>Scarius iseri</i>, <i>Sparisoma radians</i>,</p>

<sup>17</sup> NOM-022-SEMARNAT-2003, Diario Oficial de la Federación, México, 10 de abril de 2003.

<sup>18</sup> NOM-041-SEMARNAT-2015, Diario Oficial de la Federación, México, 10 de junio de 2015.

<sup>19</sup> NOM-052-SEMARNAT-2005, Diario Oficial de la Federación, México, 23 de junio de 2006.

<sup>20</sup> NOM-059-SEMARNAT-2010, Diario Oficial de la Federación, México, 30 de diciembre de 2010.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
	<p><i>Sparisoma viridae</i> y <i>Thalassia testudinum</i>) y una especie categorizada como Amenazada (<i>Syringodium filiforme</i>), las cuales presentaron abundancia rara en el SAR.</p>
<p>NOM-080-SEMARNAT-1994.<sup>21</sup> Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.</p>	<p>Para la realización de las actividades del proyecto y para evitar afectaciones en el confort sonoro, la maquinaria se restringirá únicamente de 8 a 18 o de 7 a 17 horas de lunes a sábado.</p>
<p>NOM-162-SEMARNAT-2012.<sup>22</sup> Que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación.</p>	<p>El promovente pretende llevar a cabo acciones de conservación y protección de los ejemplares de tortuga marina que aniden cerca del área de playa del proyecto a través de actividades tendientes a evitar cualquier daño a estos quelonios, contenidas en el Programa de Manejo Ambiental, y que serán incluidas en el Programa de Manejo de Tortuga que el hotel lleva al cabo actualmente.</p>

### III.2 Instrumentos de Planeación del Desarrollo

#### III.2.1 Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024

El Estado tiene como obligación, de acuerdo con el artículo 25 de la CPEUM, fungir como el rector del desarrollo nacional, garantizando que éste sea incluyente, equitativo y sostenido. Por tanto, resulta indispensable que el Gobierno de la

<sup>21</sup> NOM-080-SEMARNAT-1994, México, Diario Oficial de la Federación, 13 de enero de 1995.

<sup>22</sup> NOM-162-SEMARNAT-2012, México, Diario Oficial de la Federación, 1 de febrero de 2013. Modificación del 8 de marzo de 2013.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

República impulse, al igual que lo hacen las economías más competitivas a nivel mundial, a los sectores con alto potencial de crecimiento y generación de empleos.

De igual forma, la CPEUM refiere en su artículo 26, apartado A que la planeación del desarrollo nacional constituye el eje que articula las políticas públicas que lleva a cabo el Gobierno de la República, facultad que lleva a cabo en cumplimiento a las disposiciones contenidas en el artículo 21 de la Ley de Planeación, el cual determina que **el Plan Nacional de Desarrollo precisará los objetivos nacionales, estrategias y prioridades del desarrollo integral y sustentable del país**; contendrá previsiones sobre los recursos que serán asignados a tales fines; determinará los instrumentos y responsables de su ejecución y **establecerá los lineamientos de política de carácter global, sectorial y regional, por lo que sus previsiones se refieren al conjunto de la actividad económica, social y cultural, tomando siempre en cuenta las variables ambientales que se relacionen a éstas**, y regirá el contenido de los programas que se generen en el sistema nacional de planeación democrática.

En este sentido, el **Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024** (PND)<sup>23</sup> establece las prioridades del Gobierno de la República estableciéndose 4 temas rectores, 1. Política y Gobierno, 2. Política Social, 3. Economía, 4. Epílogo.

Como parte del tema 3, Economía, el cual busca impulsar la reactivación económica, el mercado interno y el empleo, podría incluirse el presente proyecto, ya que con su desarrollo se mantendrán fuentes de trabajo y se favorecerá la economía de la región al contar con áreas adecuadas para el desarrollo de la actividad turística.

En el tema ambiental, no se plantean las metas o estrategias a seguir en la materia, motivo por el cual este ámbito será tratado en el rubro correspondiente.

### III.2.2 Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Considerando que el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos naturales 2019-2024 se encuentra en consulta pública y por lo tanto no ha sido publicado, se

---

<sup>23</sup> Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, México, Diario Oficial de la Federación, 12 de julio de 2019.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

presenta a continuación la vinculación del proyecto con el Programa elaborado para el 2013-2018.

El Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018 (PROMARNAT)<sup>24</sup>, está conformado por 6 Objetivos principales:

- Objetivo 1. Promover y facilitar el crecimiento sostenido y sustentable de bajo carbono con equidad y socialmente incluyente.
- Objetivo 2. Incrementar la resiliencia a efectos del cambio climático y disminuir las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero.
- Objetivo 3. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas.
- Objetivo 4. Recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentablemente del patrimonio natural.
- Objetivo 5. Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo.
- Objetivo 6. Desarrollar, promover y aplicar instrumentos de política, información investigación, educación, capacitación, participación y derechos humanos para fortalecer la gobernanza ambiental.

De conformidad con el Diagnóstico de este Programa, **el crecimiento del país ha estado lejos de ser ambientalmente sustentable. Paralelamente al aumento del producto interno bruto (PIB) crecieron las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) - el principal gas responsable del efecto invernadero-, la generación de residuos de distintos tipos y la descarga de aguas residuales, a la vez que la cubierta de bosques y selvas se redujo.** Esta pérdida y deterioro del capital natural viene acompañada de importantes costos económicos. Según cálculos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI),<sup>25</sup> **el costo total del agotamiento y la degradación ambiental (CTADA) representó 6.5% del PIB en 2011.**

---

<sup>24</sup> Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018, México, Diario Oficial de la Federación, 12 de diciembre de 2013.

<sup>25</sup> INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas económicas y ecológicas de México 2003-2011, año base 2003, México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2013.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

En este contexto, el **reto que enfrenta el país es establecer y seguir un modelo de desarrollo que permita alcanzar un crecimiento sostenido de la economía que reduzca los niveles de pobreza y que incremente el bienestar y la calidad de vida de todos los ciudadanos sin hipotecar la base de recursos naturales para las generaciones venideras**. Esto es básicamente lo que significaría transitar hacia una economía verde, apuntalada en el valor del capital natural sobre la economía, como componente indispensable para avanzar hacia el desarrollo sustentable.

Por otro lado, **el Programa advierte que las zonas costeras y marinas son particularmente importantes para el desarrollo nacional: en ellas vive cerca del 20% de la población y se desarrolla una gama de actividades económicas relevantes como las portuarias y turísticas**, entre otras.

Pero, dada su vulnerabilidad ante fenómenos meteorológicos extremos, resulta primordial regular e inducir los usos del suelo y las actividades productivas que en ellas se realizan. Por lo que el proyecto que se somete a evaluación da cumplimiento al marco legal existente en materia ambiental, incluidos los ordenamientos ecológicos y territoriales, en aras de proponer un desarrollo turístico sustentable.

En la tabla siguiente se detalla la relación entre las metas y estrategias del PND y las estrategias y objetivos del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018; así como la vinculación jurídica de éste con el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 12.** Vinculación jurídica del proyecto, con el Programa Sectorial del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018.

PND Meta Nacional	PND Objetivo de la Meta Nacional	PND Estrategias	Objetivos del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018	Vinculación con el proyecto
México Próspero	Objetivo 4.4. Impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo.	Estrategia 4.4.3. Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono.	Objetivo 3. Incrementar la resiliencia a efectos del cambio climático y disminuir las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero.	Para controlar las emisiones atmosféricas, el promovente plantea la contratación de maquinaria en buenas condiciones, que pueda ser garantizada por la empresa propietaria.
		Estrategia 4.4.4. Proteger el patrimonio natural.	Objetivo 4. Recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a	El proyecto plantea la restauración de la playa, con la finalidad

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

PND Meta Nacional	PND Objetivo de la Meta Nacional	PND Estrategias	Objetivos del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018	Vinculación con el proyecto
			través de la conservación, restauración y aprovechamiento sustentablemente del patrimonio natural.	de evitar su erosión, por el movimiento del mar, preservando la belleza natural del sitio y el ecosistema marino.
			Objetivo 5. Detener y revertir la pérdida de capital natural y la contaminación del agua, aire y suelo.	El proyecto plantea la restauración de la playa, con la finalidad de evitar la erosión, por el movimiento del mar, preservando la belleza natural del sitio y el ecosistema marino.
			Objetivo 6. Desarrollar, promover y aplicar instrumentos de política, información, investigación, educación,	El proyecto se apunala en la aplicación de todos los instrumentos de política ambiental y normatividad que están orientados a garantizar

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

PND Meta Nacional	PND Objetivo de la Meta Nacional	PND Estrategias	Objetivos del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018	Vinculación con el proyecto
			capacitación, participación y derechos humanos para fortalecer la gobernanza ambiental.	derechos humanos, tales como: a un medio ambiente sano.



### III.2.3 Programa Sectorial de Turismo 2013-2018

E **Plan Nacional de turismo 2018-2024**, comprende de manera general los 10 puntos considerados con mayor relevancia para la nación entre estos se establece en el punto **2**. Fortalecer Destinos. Este segundo proyecto está relacionado con la Política de Regionalización y se propone una actividad turística más equilibrada, estableciendo para ello 8 macro regiones, en donde se considera a la “Península de Yucatán”, indicando que dar realce a estos destinos, se contempla el establecimiento de vínculos par la inversión, la comunicación y el desarrollo integral del turismo.

*Es así que el proyecto contribuye a fortalecer tanto la economía de la región como la infraestructura de la misma, ya que, con el desarrollo del mismo, se fortalecerá el municipio de Puerto Morelos, el cual aunque cuenta con infraestructura turística, se requiere de fortalecer a través de diferentes instrumentos, como la promoción, embellecimiento de la región, pero sobre todo ofreciendo servicios de calidad a los turistas tanto nacionales como internacionales que arriban a la región.*

Respecto al Programa Sectorial de Turismo 2019-2024, este se encuentra en consulta por lo que se desconoce cuáles serán las estrategias que impulse el sector, no obstante, a continuación, se presenta la vinculación con el Programa Sectorial de Turismo anterior.

El Programa Sectorial de Turismo 2013-2018 (PST), como el instrumento base de la planeación del Ejecutivo Federal en materia turística en el que se determinan los objetivos, estrategias, líneas de acción e indicadores concretos del sector.<sup>26</sup>

En específico este instrumento se inscribe al esfuerzo de planeación descrito en el objetivo 4.11 del PND 2013-2018, el cual dispone: “Aprovechar el potencial turístico de México para generar una mayor derrama económica en el país”, desprendiéndose las cuatro estrategias a seguir: i. impulsar el ordenamiento y la transformación del sector turístico; ii. impulsar la innovación de la oferta y elevarla competitividad del sector turístico; iii. fomentar un mayor flujo de inversiones y financiamiento en el sector turismo y la promoción eficaz de los destinos turísticos y,

<sup>26</sup> Programa Sectorial de Turismo 2013-2018, México, Diario Oficial de la Federación, 13 de diciembre de 2013.





iv. impulsar la sustentabilidad y que los ingresos generados por el turismo sean fuente de bienestar social.

En comparación con otras ramas productivas, **el turismo es una actividad económica dinámica y con un ritmo de crecimiento favorable, capaz de generar oportunidades para las micro, pequeñas y medianas empresas**, así como de crear encadenamientos productivos de mayor valor agregado para el país. Considerado un catalizador del desarrollo, **representa un poderoso instrumento para elevar el bienestar de las comunidades receptoras, genera un sentido de pertenencia y contribuye a la preservación de la riqueza natural y cultural.**

Para **México el turismo representa una de las principales fuentes de divisas, genera el 8.4% del PIB y más de 2.2 millones de empleos, lo cierto es que para ese periodo el país tuvo un crecimiento únicamente del 1.1%**. Lo cual es consistente con el registro de tasas de crecimiento menores y, en consecuencia, de la derrama económica generada por el turismo, situación totalmente contradictoria con el potencial turístico del país. No obstante, de acuerdo con cifras del Banco de México, parece que la tendencia empieza a revertirse, pues como se observa en la tabla 21 referente al período enero julio de 2014/2015, **se advierte un incremento en el número de llegadas de visitantes internacionales y, por ende, en las divisas provenientes de éstos, por lo que es un buen momento para invertir en el sector, a fin de contribuir a lograr los objetivos y metas de desarrollo nacionales.**

En cuanto a la oferta turística, **México cuenta con un importante patrimonio natural, histórico y cultural que lo sitúa como un destino que ofrece una amplia gama de productos**. Sin embargo, existe una alta concentración de la oferta en productos de sol y playa que centraliza buena parte de los servicios turísticos. De acuerdo con información del Sistema Nacional de la Información Estadística del Sector Turismo de México (Datatur), **65% de los turistas extranjeros se alojaron en destinos de sol y playa en 2012, de los cuales el 77% prefirieron tres destinos: Riviera Maya (38%), Cancún (29%) y Los Cabos (10%)**. En el caso del turismo doméstico la proporción es distinta. Durante el mismo año, únicamente el 31% se hospedó en destinos de sol y playa. Los destinos predilectos por orden de importancia fueron: Acapulco (30%), Veracruz (15%), Cancún (12.1%), Mazatlán (8.1%) y Puerto Vallarta (7.2%).

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Por otra parte, el PST reconoce que el crecimiento económico depende fundamentalmente de la inversión y la actividad turística reúne los atributos necesarios para la interacción de la inversión pública y privada aprovechando y desarrollando capacidades productivas de sus recursos humanos y la vocación turística de las regiones donde se desarrolla. En concreto **se requiere que la conducción y orientación de la inversión se realice hacia proyectos con potencial turístico que permita impulsar la calidad de los destinos turísticos**. En este sentido la banca de desarrollo y los programas locales de promoción turística deben tener convergencia y promover una amplia convocatoria de complementación con la inversión privada.

Por lo que **hace a la sustentabilidad en el turismo**, se trata de uno de los principales retos para la gestión del sector, cuya tendencia a la masificación **conduce a repensar no sólo los patrones de desarrollo de los destinos, sino en los patrones de consumo que exigen destinos más limpios, más seguros y responsables con el medio ambiente**.

**La concentración de la oferta en destinos turísticos genera una alta demanda de recursos naturales y, por tanto, un mayor desgaste de los mismos**. En 2012 el 52% de la oferta hotelera en el país se concentró en ocho destinos turísticos: Distrito Federal, Riviera Maya, Cancún, Acapulco, Guadalajara, Los Cabos, Monterrey y Puerto Vallarta. Esta situación y **la falta de planeación fundamentada en criterios de sustentabilidad integral tienen efectos negativos en la entrega de servicios en cada destino**. Por lo que es ineludible un esfuerzo transversal entre todos los niveles de gobierno y las dependencias y entidades de la federación para el aprovechamiento responsable de los activos naturales y culturales, evitando su deterioro. **Siendo la evaluación del impacto ambiental un instrumento que ayuda a la planeación ordenada y sustentable del turismo**.

Ahora bien, enfocados en **el aspecto social de la sustentabilidad se debe incluir a los agentes sociales en el desarrollo turístico y fortalecimiento del tejido social, de forma que se promueva la cohesión social como una externalidad positiva directa**. Mientras que **el aspecto económico de la sustentabilidad en el turismo se fundamenta en relaciones económicas sostenibles en el tiempo, que generen empleos de calidad, que fomenten la creación de comunidad y cuya actividad**

***incremente el bienestar humano a través de actividades rentables y amigables con el medio ambiente.***

Desde la perspectiva ambiental de la sustentabilidad, es importante advertir que ***el turismo guarda una relación ambivalente con el fenómeno del cambio climático.*** Por una parte, su estrecha relación con el medio ambiente lo hace vulnerable a cualquier cambio de las condiciones climáticas en los destinos. Por otra, ***tiene una elevada y creciente responsabilidad en las emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen a acelerar el fenómeno del cambio climático.***

Como se advierte, el beneficio social de la actividad turística pasa también por la promoción de una cultura de preservación y cuidado de la riqueza natural, cultural, histórica y arqueológica en la que debe participar la comunidad. Esto es, ***en la medida que la población de los destinos turísticos identifique opciones de empleo y desarrollo en la actividad turística local y se identifique con ella, apreciará como un activo propio de la comunidad o el municipio las ventajas turísticas de su localidad y participará más activamente en la defensa y cuidado del patrimonio turístico de su localidad*** y con ello de las regiones turísticas del país. Esto es, el desarrollo turístico debe tener un carácter incluyente que trascienda la generación de empleos para darle un mayor rango y reconocimiento social.

***Esta dimensión de apropiación social de los destinos turísticos contribuirá a mejorar la sustentabilidad y a ampliar la gama de servicios que de manera directa e indirecta genera el turismo,*** pero, además, permitirá darle una visión de mediano plazo donde el crecimiento incluyente, ordenado y equilibrado de los destinos turísticos le garantice sustentabilidad y empleo permanente a la población y con ello una mejor calidad de vida.

Por todo lo anterior, ***se debe apostar por una estrategia integral que fomente el desarrollo sustentable de los destinos turísticos y amplíe los beneficios sociales y económicos de las comunidades receptoras, manteniendo la importancia de los recursos naturales, así como su preservación.*** En este sentido, no se debe soslayar la capacidad que tiene el turismo para combatir la pobreza y fomentar el desarrollo de las comunidades. ***Es fundamental utilizar todas las herramientas al alcance para lograr un crecimiento sustentable y justo*** que utilice las nuevas tecnologías, fuentes de energía alternativa, conciencia ambiental, ***que modifique***



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**los patrones de consumo y de desarrollo turístico con el fin enfrentar los retos que plantea el cambio climático.**

Para ello, implementa en congruencia con las establecidas por el PND 2013-2018, diversas estrategias, gran porcentaje de ellas van orientadas al accionar de la Administración Pública en coordinación con los diversos sectores partícipes en este sector, no obstante, la estrategia:

En la tabla siguiente se detallan los objetivos, estrategias y líneas de acción planteados en el PST que se relacionan con el presente manifiesto.

**Tabla 13.** Objetivos, estrategias y líneas de acción del Programa Sectorial de Turismo y su Vinculación Legal con el proyecto.

Objetivo 2. <b>Fortalecer las ventajas competitivas de la oferta turística.</b> Entender que el turismo mexicano no está aislado y que participa con el resto del mundo en un mercado cada vez más competido es un punto que debe hacernos reflexionar. Hoy más que nunca <b>se hace necesario promover un turismo sustentable y de calidad que ofrezca productos y servicios innovadores, con mayor valor agregado y con una adecuada articulación de la cadena de valor. Con calidad, innovación y productividad se generarán las condiciones para que los visitantes tengan una experiencia única, que fortalezca la competitividad del turismo mexicano en el mundo y que haga que la industria turística se desarrolle, que multiplique su potencial y que sus beneficios alcancen a más mexicanos.</b>	
Estrategia 2.2. <b>Impulsar la innovación, diversificación y consolidación de la oferta turística por región y destino.</b>	
Líneas de acción	Vinculación con el proyecto
2.2.5 Crear y mejorar las condiciones de infraestructura y equipamiento en los destinos y sitios de interés turístico.	Con la finalidad de evitar la erosión costera, se realizará la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, mismos que permitirán proteger del oleaje a la costa y a las especies que en ella habitan, manteniendo la belleza natural del lugar y propiciando la colonización natural de especies, en la infraestructura colocada, la



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

	recuperación de la playa también contará con relleno de la misma.
<p>Objetivo 5. <b>Fomentar el desarrollo sustentable de los destinos turísticos y ampliar los beneficios sociales y económicos de las comunidades receptoras.</b></p> <p>Delinear acciones para aprovechar el potencial turístico de nuestro país no tendría sentido alguno, si no enfocamos nuestros esfuerzos para que la derrama económica que genera el turismo tenga un impacto que perdure y se traduzca en mayor bienestar para los mexicanos. Es por eso que debemos <i>dirigir acciones que permitan una mayor distribución de los beneficios del turismo, que permitan a los mexicanos disfrutar de nuestro país, y que todo esto sea sostenible en el largo plazo; sin dañar nuestros recursos naturales, nuestra cultura, ni a nuestra sociedad.</i></p> <p><b>El desarrollo sustentable del sector turístico tendrá una visión integral que contempla criterios medioambientales, económicos y sociales. Este enfoque contribuirá a incrementar la derrama económica que genera el turismo promoviendo una distribución más justa y equitativa de los beneficios y una mayor protección del patrimonio natural y cultural.</b> Esta visión se verá reflejada en el esfuerzo por sistematizar y consolidar mecanismos de monitoreo de estos criterios en coordinación con las entidades federativas y los municipios turísticos. Estas acciones beneficiarán al medio ambiente, a los turistas y, sobre todo, a las comunidades receptoras.</p>	
<p>Estrategia 5.4. <b>Promover una distribución amplia y justa de los beneficios económicos y sociales del turismo en las comunidades receptoras.</b></p>	
<p><b>Líneas de acción</b></p>	<p><b>Vinculación con el proyecto</b></p>
<p>5.4.2 Fortalecer el número y la calidad de los empleos locales sostenidos por el turismo.</p>	<p>Para la realización del proyecto, se plantea la contratación de personal de las localidades cercanas, tanto para el retiro de infraestructura (espigones), como para la colocación de los AA y los andadores piloteados, así también, para las actividades de recuperación del ancho de la playa.</p>





### III.2.4 Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018

Al no contar con el nuevo programa de Cambio Climático se realiza la vinculación del proyecto con el programa 2014-2018.

El Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)<sup>27</sup>, es congruente con el objetivo 4.4 y la estrategia 4.4.3 del PND, que se refieren al fortalecimiento de la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono.

El PECC, está conformado por 4 Objetivos generales, mismos que contienen estrategias y líneas de acción, siendo los siguientes:

- Objetivo 1. Reducir la vulnerabilidad de la población y sectores productivos e incrementar su resiliencia y la resistencia de la infraestructura estratégica.
- Objetivo 2. Conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas garantizando sus servicios ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático.
- Objetivo 3. Reducir emisiones de gases de efecto invernadero para transitar a una economía competitiva y a un desarrollo bajo en emisiones.
- Objetivo 4. Reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta, propiciando con beneficios de salud y bienestar.
- Objetivo 5. Consolidar la política nacional de cambio climático mediante instrumentos eficaces y en coordinación con entidades federativas, municipios, Poder Legislativo y sociedad.

Dentro del diagnóstico del PECC, México tiene características geográficas que lo colocan como uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático y a diferentes fenómenos meteorológicos. El PECC, ha identificado por sectores prioritarios, aquellos impactos del cambio climático que se pueden presentar en territorio nacional:

- Agricultura: disminución de productividad de maíz y pérdida de fertilidad de suelos.

---

<sup>27</sup> Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018, México, Diario Oficial de la Federación, 28 de abril de 2014.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- Hídrico: sequías más frecuentes y como consecuencia mayor demanda de agua. Por otro lado, en ciertas regiones aumento en la precipitación e incremento de inundaciones.
- Costero: aumento del nivel del mar, intrusión salina.
- Tormentas y clima severo: mayor número e intensidad de tormentas, impactos con mayores consecuencias.
- Ecosistemas y biodiversidad: reducción del área de cubierta de bosques de coníferas y especies, aumento de temperatura en aguas oceánicas.
- Infraestructura estratégica: la infraestructura turística, portuaria, de energía, comunicación y transportes, se puede ver afectada por el aumento en número e intensidad de ciclones tropicales y mareas de tormentas más intensas.

Derivado de lo anterior en la tabla siguiente, se muestra los objetivos, estrategias y líneas de acción y su vinculación jurídica con el proyecto:

**Tabla 14.** Objetivos, estrategias y líneas de acción del Programa Especial de Cambio Climático y su vinculación legal con el proyecto.

Objetivo 2. Conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas garantizando sus servicios ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático.	
Estrategia 2.1. Promover esquemas y acciones de protección, conservación y restauración de ecosistemas terrestres, costeros y marinos y su biodiversidad	
Líneas de acción	Vinculación con el proyecto
2.1.4 Reforzar acciones que coadyuven en la protección y conservación del medio ambiente marino	Con la finalidad de evitar la erosión costera, se realizará la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, mismos que permitirán proteger del oleaje a la costa y a las especies que en ella habitan, manteniendo la belleza natural del lugar y propiciando la colonización natural de especies, en la infraestructura colocada. Asimismo, el proyecto pretende la implementación de acciones para



	la conservación y protección del ambiente marino durante la ejecución del proyecto mediante el Programa de Manejo Ambiental.
--	--

### III.2.5 Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 25, 26, 39 y 120 de la CPEUM; 1, fracciones I, II, III y 35 de la Ley de Planeación; 1, 4, 5, 6 y 9, de la Constitución Política del Estado de Quintana Roo y con base en los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo se formuló el Plan Estatal de Desarrollo de 2016-2022<sup>28</sup> (PED), al cual se sujetarán obligatoriamente los instrumentos de planeación, programación y gestión del desarrollo en el Estado de Quintana Roo, ya que se trata del documento rector de las acciones del gobierno y la Administración Pública Estatal.

El PED, tiene por objeto disponer de un esquema de actuación institucional, sustentado en una línea base de referencia, contraste y expectativas realistas, que induzcan a la programación de actividades orientadas a la obtención de resultados positivos y valor público en la actuación gubernamental, sujetos a evaluación y control en el ejercicio del gasto público, a través de indicadores estratégicos y de gestión propios de una administración pública de carácter gerencial.

El PED, está integrado por 5 Ejes Estratégicos:

- a) Eje 1. Desarrollo y diversificación económica con oportunidades para todos: Estado de gran relevancia nacional por su desarrollo e importancia económica, uno de los estados con mayor recepción de migrantes nacionales. Sin embargo, la falta de planeación y el nulo impulso de regiones socioeconómicas en todo el territorio estatal, ha generado la concentración de actividades en la zona norte del estado, así como el impulso pleno en el desarrollo turístico, desaprovechando otros sectores como el primario y secundario, así como elementos naturales, culturales e

<sup>28</sup> Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022, México, Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 25 de enero de 2017. Disponible en: <https://www.qroo.gob.mx/plan-estatal-de-desarrollo-quintana-roo-2016-2022/introduccion>.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

históricos, buscando minimizar estas problemáticas, a través del Plan de Acción, mismo que consta con 4 programas:

- Programa 1. Empleo y Justicia Laboral.
- Programa 2. Desarrollo, Innovación y Diversificación Económica.
- Programa 3. Competitividad e Inversión.
- Programa 4. Diversificación y Desarrollo del Turismo.

b) Eje 2. Gobernabilidad, Seguridad y Estado de Derecho: el propósito es construir esquemas de coordinación y colaboración en todos los niveles de gobierno y con los sectores social, público y privado para un corto, mediano y largo plazo, con certeza, tranquilidad y protección permanente desde una perspectiva de gobernanza y auténtica participación democrática. Conformado el Plan de Acción con 8 programas:

- Programa 5. Gobernabilidad.
- Programa 6. Capacitación, Vinculación y Actuación de los Cuerpos Policiales.
- Programa 7. Equipamiento y tecnología para la seguridad.
- Programa 8. Corresponsabilidad en la Prevención del Delito y Responsabilidad Vial.
- Programa 9. Sistema Penitenciario.
- Programa 10. Protección Civil.
- Programa 11. Derechos Humanos.
- Programa 12. Procuración de Justicia.

c) Eje 3. Gobierno Moderno, Confiable y Cercano a la Gente: ante la fragilidad de los sistemas de planeación, programación, seguimiento, evaluación y control, se busca la sanación pública y de reconocimiento mutuo de las fallas del sistema, mediante la coordinación de los gobiernos locales y participación ciudadana. El Plan de Acción de este eje está conformado por 8 programas:

- Programa 13. Gobierno Transparente y de Puertas Abiertas.
- Programa 14. Comunicación e Información Gubernamental.
- Programa 15. Gobierno Digital y con Innovación Gubernamental.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- Programa 16. Administración Responsable de Recursos.
- Programa 17. Gestión y Control Gubernamental.
- Programa 18. Robustecimiento de las Finanzas Públicas.
- Programa 19. Planeación y Evaluación Estratégica.
- Programa 20. Gerencia Pública.

d) Eje 4. Desarrollo Social y Combate a la Desigualdad: la política de desarrollo social debe interesarse en solucionar problemas estructurales que acentúan la pobreza y la marginación, con el objetivo de garantizar la igualdad de oportunidades a todos sus habitantes y promover el desarrollo de sus capacidades. Buscando garantizar el ejercicio real de los derechos humanos. El Plan de Acción de este eje se integra por 6 programas:

- Programa 21. Combate a la Pobreza.
- Programa 22. Recomposición del Tejido Social.
- Programa 23. Educación Pública de Calidad.
- Programa 24. Salud Pública Universal.
- Programa 25. Atención a Grupos en Situación de Vulnerabilidad.
- Programa 26. Igualdad de Género.

e) Eje 5. Crecimiento Ordenado con Sustentabilidad: Basados en los beneficios económicos que el sector turístico ha causado, así como observando los desequilibrios medioambientales y sociales, tales como contaminación, uso irracional de los recursos, explotación forestal, cambios de uso de suelo, alta concentración demográfica en algunas ciudades, altos niveles de inmigración, informalidad, nuevas zonas marginales y baja diversificación productiva. Ha repercutido en la agudización de problemas sociales y en la precarización del trabajo. Por lo que busca este eje lograr es el desarrollo óptimo territorial del Estado, en sus tres regiones: sur, norte y maya, mediante tres líneas básicas de acción: a) conseguir el equilibrio territorial en sus regiones; b) vincular a su población rural y semi rural con la población urbana mediante el fortalecimiento del desarrollo endógeno; y c) lograr el desarrollo sostenible en todo el proceso de planeación del desarrollo territorial con una visión de largo plazo. Eje que cuenta con 7 programas:



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

- Programa 27. Desarrollo Urbano Sostenible y Ordenamiento Territorial con Cisión Regional y Metropolitana.
- Programas 28. Medio Ambiente y Sustentabilidad.
- Programa 29. Movilidad y Transporte.
- Programa 30. Infraestructura para el Desarrollo del Estado.
- Programa 31. Vivienda.
- Programa 32. Servicios Públicos de Calidad.
- Programa 33. Desarrollo Insular del Estado.

De conformidad con lo anterior, dentro de la Tabla siguiente, se describirán aquellas estrategias de las cuales van de acuerdo con el proyecto:

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 15.** Vinculación jurídica del proyecto, con el Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022.

EJE 5. CRECIMIENTO ORDENADO CON SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL				
PROGRAMA	OBJETIVO	ESTRATEGIA	LÍNEAS DE ACCIÓN	VINCULACIÓN CON EL PROYECTO
Programa 28. Medio Ambiente y Sustentabilidad	Garantizar la protección, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales para mejorar la calidad de vida de los quintanarroenses, mitigando los impactos derivados de las principales actividades productivas, que generan afectación al medio ambiente y a la biodiversidad.	Desarrollar instrumentos, mecanismos y programas orientados a concientizar, regular, cumplir y vigilar la normatividad ambiental aplicable en los proyectos, actividades, desarrollos existentes y futuros, en corresponsabilidad con los sectores público, privado y social.	5.28.31 Implementar acciones de seguimiento del mangle y otros ecosistemas degradados.	En la ubicación del proyecto no hay presencia de mangle.
			5.28.48 Implementar incentivos para que los nuevos desarrollos turísticos adopten medidas que mitiguen los efectos de cambio climático y la contaminación de recursos, así como a predios que destinen superficies para la conservación.	El promovente es consciente de los efectos del cambio climático en la zona, por lo que busca con la realización del proyecto el evitar el deterioro del ecosistema marino y la erosión costera provocada, entre otros, por los fenómenos climáticos de mayor intensidad de los últimos años.
Programa 33. Desarrollo Insular de esta	Integrar, con el apoyo de los gobiernos municipal y federal,	Coordinar acciones específicas para la planeación,	5.33.12 Tomar medidas para prevenir y atender posibles consecuencias derivadas de riesgos meteorológicos.	El desarrollo del proyecto, servirá como barrera artificial para los riesgos

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

	<p>equitativamente a las ínsulas del estado en las acciones de desarrollo social, competitivo y sustentable que fomenten una mejor calidad de vida para sus habitantes</p>	<p>promoción y gestión del territorio insular del Estado de acuerdo con la Estrategia Nacional de las Islas.</p>		<p>meteorológicos que se presentan en la zona, además de evitar la erosión costera.</p>
--	--	--	--	---

### III.2.6 Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, Estado de Quintana Roo

El Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Quintana Roo (PEACCQR), es un instrumento en el cual se prevén los efectos del cambio climático sobre la población, actividades económicas y recursos naturales en el estado, dicho programa establece los siguientes objetivos:

- Establecer estrategias y líneas de acción en corto, mediano y largo plazos para prevenir y mitigar los efectos adversos del Cambio Climático en Quintana Roo.
- Elaborar y actualizar periódicamente los Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el Estado.
- Generar, articular y orientar la instrumentación de las acciones de mitigación de emisiones de GEI y de adaptación al Cambio Climático en las dependencias de los tres órdenes de gobierno en el estado de Quintana Roo
- Articular, coordinar y orientar las acciones y medidas de mitigación y adaptación al cambio climático entre sector gubernamental, académico, iniciativa privada, sociedad civil y organizaciones no gubernamentales.

De conformidad con lo anterior, dentro de la Tabla siguiente, se describirán aquellas estrategias de las cuales van de acuerdo con el proyecto:

**Tabla 16.** Vinculación jurídica del proyecto, con el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, Estado de Quintana Roo.

<b>Medidas de adaptación al Cambio Climático (turismo)</b>	
<b>Efecto del Cambio Climático en: Daños a infraestructura</b>	
Medidas de adaptación: Fomentar entre el sector turístico el uso de buenas prácticas ambientales para la planeación, diseño y construcción sustentable.	
Indicadores	Vinculación con el proyecto
Número de hoteles certificados con calidad ambiental turística	El proyecto contempla, la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores piloteados de madera, contemplando medidas necesarias para evitar cualquier



<b>Medidas de adaptación al Cambio Climático (turismo)</b>	
<b>Efecto del Cambio Climático en: Daños a infraestructura</b>	
	alteración en el ecosistema marino y con la finalidad de rehabilitar la playa erosionada por el movimiento del mar.

### **III.3 Instrumentos de Ordenación Territorial y Desarrollo Urbano**

#### **III.3.1 Ordenamientos ecológicos**

##### **III.3.1.1 Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio**

Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT)<sup>29</sup>, es un instrumento de observancia obligatoria en todo el territorio nacional que vincula las acciones y programas de la Administración Pública Federal y las entidades paraestatales en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática.

El POEGT, está integrado por un Modelo de Ordenamiento Ecológico General Territorial, una regionalización ecológica del Territorio Nacional, que divide a toda la República Mexicana en 145 unidades ambientales biofísicas (UAB), estableciendo lineamientos y estrategias ecológicas generales.

Al POEGT, lo conforman 44 estrategias ecológicas que están dirigidas:

- A lograr la sustentabilidad ambiental del territorio.
- Al mejoramiento del sistema social e infraestructura urbana.
- Al fortalecimiento de la gestión y la coordinación institucional.

El POEGT, establece 10 lineamientos ecológicos:

1. Proteger y usar responsablemente el patrimonio natural y cultural del territorio, consolidando la aplicación y el cumplimiento de la normatividad

<sup>29</sup> Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio, México, Diario Oficial de la Federación, 7 de septiembre de 2012.



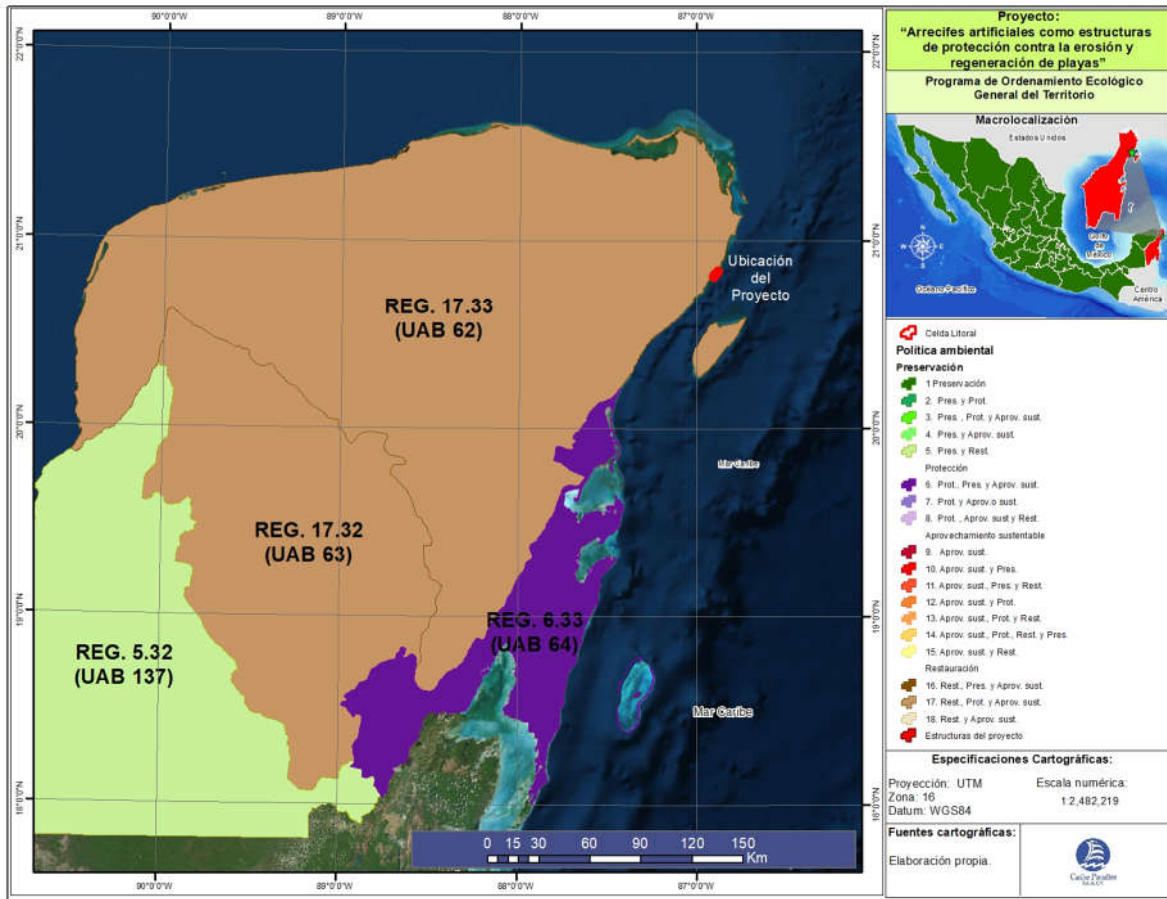


## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- en materia ambiental, desarrollo rural y ordenamiento ecológico del territorio.
2. Mejorar la planeación y coordinación existente entre las distintas instancias y sectores económicos que intervienen en la instrumentación del programa de ordenamiento ecológico general del territorio, con la activa participación de la sociedad en las acciones en esta área.
  3. Contar con una población con conciencia ambiental y responsable del uso sustentable del territorio, fomentando la educación ambiental a través de los medios de comunicación y sistemas de educación y salud.
  4. Contar con mecanismos de coordinación y responsabilidad compartida entre los diferentes niveles de gobierno para la protección, conservación y restauración del capital natural.
  5. Preservar la flora y la fauna, tanto en su espacio terrestre como en los sistemas hídricos a través de las acciones coordinadas entre las instituciones y la sociedad civil.
  6. Promover la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad, mediante formas de utilización y aprovechamiento sustentable que beneficien a los habitantes locales y eviten la disminución del capital natural.
  7. Brindar información actualizada y confiable para la toma de decisiones en la instrumentación del ordenamiento ecológico territorial y la planeación sectorial.
  8. Fomentar la coordinación intersectorial a fin de fortalecer y hacer más eficiente el sistema económico.
  9. Incorporar al SINAP las áreas prioritarias para la preservación, bajo esquemas de preservación y manejo sustentable.
  10. Reducir las tendencias de degradación ambiental, consideradas en el escenario tendencial del pronóstico, a través de la observación de las políticas del Ordenamiento Ecológico General del Territorio.

En relación al proyecto material del presente manifiesto y conforme a lo establecido en el POEGT y tal como se muestra en la Figura 1, al proyecto le corresponde la Región Ecológica número 17.33, compuesta exclusivamente por la Unidad Ambiental Biofísica número 62, con una política ambiental de restauración, protección y aprovechamiento sustentable, de importancia alta y con un escenario a largo plazo inestable a crítico.

# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 1.** Ubicación del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”, dentro del plano del POEGT.

Derivado de lo anterior en la tabla siguiente, se muestra la vinculación del POEGT con el proyecto:



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 17.** Vinculación jurídica del proyecto, con las estrategias sectorial de la UAB 62 del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio.

Grupo I. Dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del Territorio		
Política ambiental	Estrategias sectoriales	Vinculación con el proyecto
A) Preservación	1. Conservación in situ de los ecosistemas y su biodiversidad.	Para reducir los impactos negativos del proyecto por su realización, el Programa de Manejo Ambiental contempla el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero y Subprograma de Acciones Independientes puesto que el promovente es consciente de la importancia de las especies que se encuentran o utilizan al sitio del proyecto como vía de acceso a la playa.
	2. Recuperación de especies en riesgo.	
	3. Conocimiento, análisis y monitoreo de los ecosistemas y su biodiversidad.	
B) Aprovechamiento sustentable	4. Aprovechamiento sustentable de ecosistemas, especies, genes y recursos naturales.	El proyecto no contempla el aprovechamiento de recursos naturales, sin embargo, el promovente es consciente de la importancia de los recursos que existen en el sitio del proyecto, así reflejado en el Programa de Manejo Ambiental.
	5. Aprovechamiento sustentable de los suelos agrícolas y pecuarios.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Grupo I. Dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del Territorio		
Política ambiental	Estrategias sectoriales	Vinculación con el proyecto
	6. Modernizar la infraestructura hidroagrícola y tecnificar las superficies agrícolas.	No aplica para el proyecto.
	7. Aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.	No aplica para el proyecto.
	8. Valoración de los servicios ambientales.	El promovente es consciente de la importancia de los recursos naturales que existen en el sitio del proyecto y su preservación, así reflejado dentro del Programa de Manejo Ambiental.
C) Protección de los recursos naturales	9. Propiciar el equilibrio de las cuencas y acuíferos sobreexplotados.	No aplica para el proyecto.
	10. Reglamentar para su protección, el uso del agua en las principales cuencas y acuíferos.	No aplica para el proyecto.
	11. Mantener en condiciones adecuadas de funcionamiento las presas administradas por CONAGUA.	No aplica para el proyecto.
	12. Protección de los ecosistemas.	Para la elaboración del presente manifiesto, se realizaron múltiples estudios especializados para detectar las posibles afectaciones que la construcción y operación del proyecto, ocasionarían al ecosistema marino, basados

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Grupo I. Dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del Territorio		
Política ambiental	Estrategias sectoriales	Vinculación con el proyecto
		en el principio de protección y preservación, integrando así el Programa de Manejo Ambiental y sus subprogramas.
	13. Racionalizar el uso de agroquímicos y promover el uso de biofertilizantes.	No aplica para el proyecto.
D) Restauración	14. Restauración de los ecosistemas forestales y suelos agrícolas.	No aplica para el proyecto.
E) Aprovechamiento sustentable de recursos naturales no renovables y actividades económicas de producción y servicios	21. Rediseñar los instrumentos de política hacia el fomento productivo del turismo.	No aplica para el proyecto.
	22. Orientar la política turística del territorio hacia el desarrollo regional.	La realización del proyecto, generará desarrollo en la región, puesto que las empresas y trabajadores que se contemplan contratar serán locales.
	23. Sostener y diversificar la demanda turística doméstica e internacional con mejores relaciones consumo (gastos del turista) – beneficio (valor de la experiencia, empleos mejor remunerados y desarrollo regional).	El proyecto, además de evitar la erosión de la costa, tiene la intención de preservar la belleza natural del sitio y las especies que en él habitan, para seguir potencializando la región como un lugar turístico a nivel nacional e internacional.
Grupo II. Dirigidas al mejoramiento del sistema social e infraestructura urbana		
	31. Generar e impulsar las condiciones necesarias para el desarrollo de	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Grupo I. Dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del Territorio		
Política ambiental	Estrategias sectoriales	Vinculación con el proyecto
D) Infraestructura y equipamiento urbano y regional	ciudades y zonas metropolitanas seguras, competitivas, sustentables. Bien estructuradas y menos costosas.	
	32. Frenar la expansión desordenada de las ciudades, dotarlas de suelo apto para el desarrollo urbano y aprovechar el dinamismo, la fortaleza y la riqueza de las mismas para impulsar el desarrollo regional.	No aplica para el proyecto.
E) Desarrollo Social	36. Promover la diversificación de las actividades productivas en el sector agroalimentario y el aprovechamiento integral de la biomasa. Llevar a cabo una política alimentaria integral que permita mejorar la nutrición de las personas en situación de pobreza.	No aplica para el proyecto.
	37. Integrar a mujeres, indígenas y grupos vulnerables al sector económico-productivo en núcleos agrarios y localidades rurales vinculadas.	El proyecto pretende contratar trabajadores locales, generando oportunidades al mercado laboral de la zona.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Grupo I. Dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del Territorio		
Política ambiental	Estrategias sectoriales	Vinculación con el proyecto
	38. Fomentar el desarrollo de capacidades básicas de las personas en condición de pobreza.	No aplica para el proyecto.
	39. Incentivar el uso de los servicios de salud, especialmente de las mujeres y los niños de las familias en pobreza.	No aplica para el proyecto.
	40. Atender desde el ámbito del desarrollo social, las necesidades de los adultos mayores mediante la integración social y la igualdad de oportunidades. Promover la asistencia social a los adultos mayores en condiciones de pobreza o vulnerabilidad, dando prioridad a la población de 70 años y más, que habita en comunidades rurales con los mayores índices de marginación.	No aplica para el proyecto.
	41. Procurar el acceso a instancias de protección social a personas en situación de vulnerabilidad.	No aplica para el proyecto.
Grupo III. Dirigidas al Fortalecimiento de la gestión y la coordinación institucional		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Grupo I. Dirigidas a lograr la sustentabilidad ambiental del Territorio		
Política ambiental	Estrategias sectoriales	Vinculación con el proyecto
A) Marco jurídico	42. Asegurar la definición y el respeto a los derechos de propiedad rural.	No aplica para el proyecto.
B) Planeación de Ordenamiento Territorial	43. Integrar, modernizar y mejorar el acceso al catastro rural y la información agraria para impulsar proyectos productivos.	No aplica para el proyecto.
	44. Impulsar el ordenamiento territorial estatal y municipal y el desarrollo regional mediante acciones coordinadas entre los tres órdenes de gobierno y concertadas con la sociedad civil.	No aplica para el proyecto.

### III.3.1.2 Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe

El Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe (POEMRGMMC)<sup>30</sup>, es el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

El POEMRGMMC, identifica, orienta y enlaza las políticas, programas, proyectos y acciones de la administración pública que contribuyan a lograr las metas regionales que en él se plantean y optimizar el uso de los recursos públicos de acuerdo con la aptitud del territorio, con acciones en materia de derecho marítimo, lucha contra la contaminación en los mares, protección de los recursos marinos, combate a la marginación y orientación del desarrollo hacia la sustentabilidad.

El POEMRGMMC, está integrado por 1. Lineamientos Ecológicos, conformada por 27 metas o enunciados generales, 2. Unidades de Gestión Ambiental (UGA), que incluyen 203 unidades clasificadas en a) Marina y b) Regionales:

- a) Área Marina, que comprende las áreas o superficies ubicadas en zonas marinas mexicanas, incluyendo zonas federales adyacentes del Golfo de México y Mar Caribe. También incluye 26 Áreas Naturales Protegidas, de competencia Federal con parte de su extensión en la zona marina. Cabe señalar, que en dichas áreas aplica el Decreto y el Programa de Manejo correspondiente, así como las acciones generales y específicas que establece este Programa, de acuerdo a su ubicación.
- b) Área Regional, abarca una región ecológica ubicada en 142 municipios con influencia costera de 6 entidades federativas (Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas). En esta área se incluyen 3 Áreas Naturales Protegidas de Competencia Federal que no tienen contacto directo con el mar, en las cuales aplica solamente el Decreto y el

---

<sup>30</sup> Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe, México, Diario Oficial de la Federación, 24 de noviembre de 2012.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Programa de Manejo correspondiente. Asimismo, se incluyen 14 Áreas Naturales Protegidas Estatales.

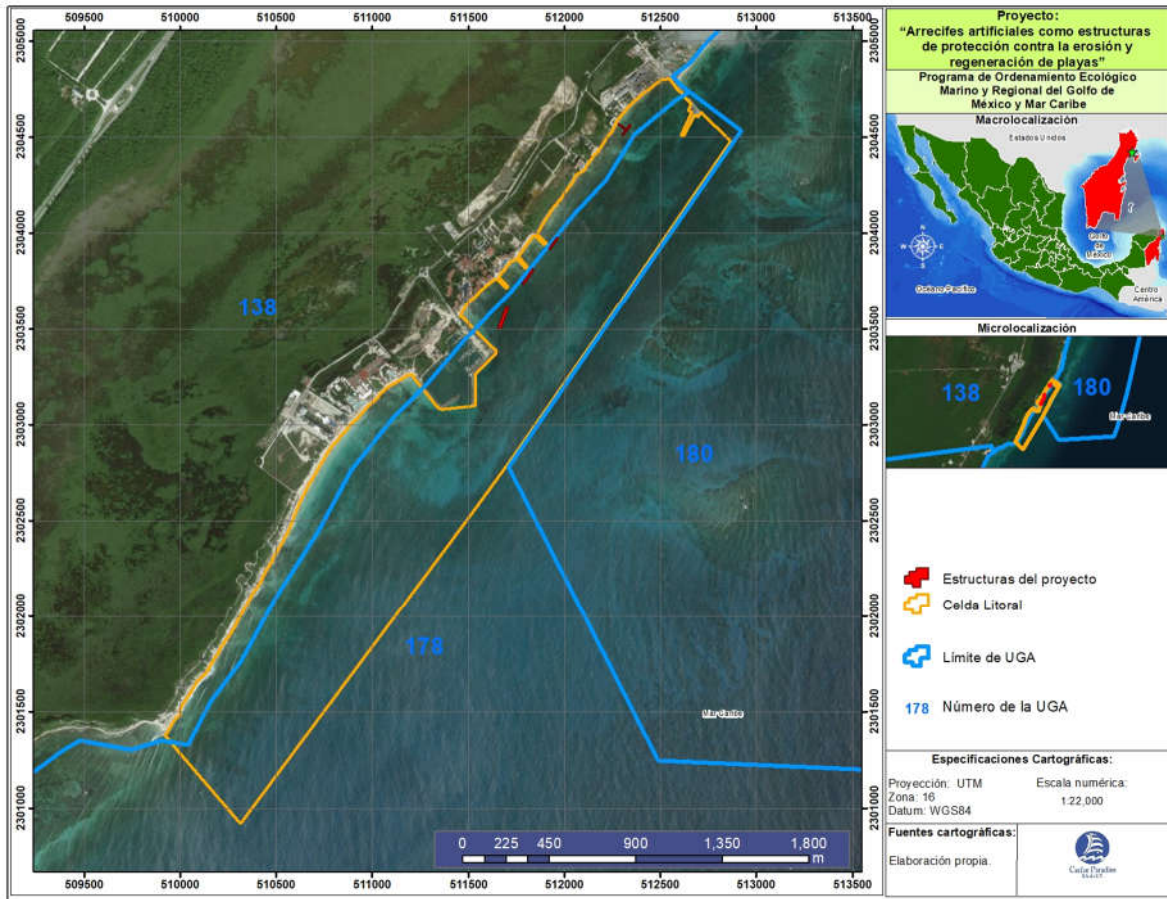
En relación al análisis del POEMRGMMC, el Anexo 9 determina que se debe iniciar con la identificación de la UGA de interés, posteriormente con las: 1. Acciones Generales, 2. Acciones Específicas, 3. Criterios para la zona costera inmediata (en caso de aplicar) y por último 4. Criterios Insulares (en caso de que la UGA sea insular o marina que incluya islas).

Siendo así, la obra de rehabilitación en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, se encuentra dentro de la UGA Marina No. 178, denominada Zona Marina de Competencia Federal, misma que consta de una superficie de 311,046.005 hectáreas, con una población contabilizada de 0 habitantes, dentro de la delimitación de dicha UGA no se encuentran instalaciones portuarias, de tipo turístico, comercial o pesquero.

Siendo así, la obra de rehabilitación en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, se encuentra dentro de la UGA Regional No. 138 y la UGA Marina No. 178, tal y como se muestra en la siguiente Figura.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 2.** En donde se muestra la UGA No. 138 y 178 del POEMRGMCC, así como el sitio del proyecto.

Ambas UGAs le son aplicables los criterios generales del Anexo 4 del POEMRGMCC, los cuales se describen en la siguiente tabla siguiente:



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 18.** Acciones Generales del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y su Vinculación Jurídica del proyecto.

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G001	Promover el uso de tecnologías y prácticas de manejo para el uso eficiente del agua en coordinación con la CONAGUA y demás autoridades competentes.	No aplica para el proyecto.
G002	Promover el establecimiento del pago por servicios ambientales hídricos en coordinación con la CONAGUA y las demás autoridades competentes.	No aplica para el proyecto.
G003	Impulsar y apoyar la creación de UMA para evitar el comercio de especies de extracción y sustituirla por especies de producción.	El proyecto está plenamente comprometido con las especies que habitan en el sitio y que pudieran ser perturbadas al momento de su realización, por lo que, como parte del apoyo para la conservación de dichas especies dentro del Programa de Manejo Ambiental y, en específico, dentro de su Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, se contempla establecer los criterios, metodologías y procedimientos para la protección, rescate, manejo y reubicación de los individuos de las especies de fauna marina presentes en el área de afectación directa del proyecto.
G004	Instrumentar o en su caso reforzar las campañas de vigilancia y control de las actividades extractivas de flora y fauna silvestre,	El presente manifiesto contempla la presencia de especies incluidas en la NOM-059-





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
	<p>particularmente para las especies registradas en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre- Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010).</p>	<p>SEMARNAT-2010 como son los gorgonáceos y en las costas adyacentes al SAR, la presencia de tortugas marinas, sin preverse actividades extractivas de las mismas. Debido al compromiso del proyecto en evitar cualquier afectación a la fauna marina, a través del Programa de Manejo de Tortuga del Cid Cancún, que actualmente instrumenta el hotel al cual se asocia el proyecto, y de acciones establecidas en el Programa de Manejo Ambiental se pretende proteger y conservar a los individuos de las especies de fauna marina que sean más susceptibles y que se localicen en el área de afectación directa del proyecto, con el fin de conservar sus poblaciones y con ello los procesos ecológicos marinos. Es importante señalar que las estructuras de protección fueron reubicadas de la primera propuesta de ubicación con el propósito de proteger los parches de pastizales presentes, por lo que en la ubicación que se presenta en este manifiesto, no se afectará ninguna especie considerada dentro de los pastos marinos.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G005	Establecer bancos de germoplasma, conforme a la legislación aplicable.	No aplica para el proyecto.
G006	Reducir la emisión de gases de efecto invernadero.	El proyecto, utilizará maquinaria y equipo para su desarrollo, sin embargo, el promovente, comprometido con la reducción de emisiones, verificará que las empresas contratadas, puedan demostrar que se encuentran en buenas condiciones y que están sujetos al mantenimiento adecuado, acciones que están incluidas en el Subprograma de Acciones Independientes.
G007	Fortalecer los programas económicos de apoyo para el establecimiento de metas voluntarias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y comercio de Bonos de Carbono.	No aplica para el proyecto.
G008	El uso de Organismos Genéticamente Modificados debe realizarse conforme a la legislación vigente.	No aplica para el proyecto.
G009	Planificar las acciones de construcción de infraestructura, en particular la de comunicaciones terrestres para evitar la fragmentación del hábitat.	No aplica para el proyecto.
G010	Instrumentar campañas y mecanismos para la reutilización de áreas agropecuarias para evitar su expansión hacia áreas naturales.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G011	Instrumentar medidas de control para minimizar las afectaciones producidas a los ecosistemas costeros por efecto de las actividades humanas.	El proyecto considera la implementación del Programa de Manejo Ambiental y Subprogramas como el de Rescate y Reubicación de Fauna Marina y de Acciones Independientes, los cuales proponen una serie de medidas y acciones para que prevenir, minimizar o compensar los impactos que pueden ser generados por el desarrollo del proyecto. En este sentido el propósito del Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina es proteger y conservar a los individuos de las especies de fauna marina que sean más susceptibles y que se encuentren en el área de afectación directa del proyecto, así como acciones de restauración de la zona, para conservar sus poblaciones y con ello sus procesos ecológicos marinos. Además, el Subprograma de Acciones Independientes considera todas aquellas acciones necesarias de prevención, mitigación, manejo y control apropiado de los impactos que están referidas a las reglas de operación del personal, de manejo de residuos y acciones adicionales en áreas terrestres.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
		Contemplando así, el área de afectación directa del proyecto.
G012	Impulsar la ubicación o reubicación de parques industriales en sitios ya perturbados o de escaso valor ambiental.	No aplica para el proyecto.
G013	Evitar la introducción de especies potencialmente invasoras en o cerca de las coberturas vegetales nativas.	No aplica para el proyecto.
G014	Promover la reforestación en los márgenes de los ríos.	No aplica para el proyecto.
G015	Evitar el asentamiento de zonas industriales o humanas en los márgenes o zonas inmediatas a los cauces naturales de los ríos.	No aplica para el proyecto.
G016	Reforestar las laderas de las montañas con vegetación nativa de la región.	No aplica para el proyecto.
G017	Desincentivar las actividades agrícolas en las zonas con pendientes mayores a 50%.	No aplica para el proyecto.
G018	Recuperar la vegetación que consolide los márgenes de los cauces naturales en el ASO, de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables.	No aplica para el proyecto.
G019	Los planes o programas de desarrollo urbano del área sujeta a ordenamiento deberán tomar en cuenta el contenido de este Programa de Ordenamiento, incluyendo las disposiciones aplicables sobre riesgo frente a cambio climático en los asentamientos humanos.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G020	Recuperar y mantener la vegetación natural en las riberas de los ríos y zonas inundables asociadas a ellos.	No aplica para el proyecto.
G021	Promover las tecnologías productivas en sustitución de las extractivas.	No aplica para el proyecto.
G022	Promover el uso de tecnologías productivas intensivas en sustitución de las extensivas.	No aplica para el proyecto.
G023	Implementar campañas de control de especies que puedan convertirse en plagas.	No aplica para el proyecto.
G024	Promover la realización de acciones de forestación y reforestación con restauración de suelos para incrementar el potencial de sumideros forestales de carbono, como medida de mitigación y adaptación de efectos de cambio climático.	No aplica para el proyecto.
G025	Fomentar el uso de especies nativas que posean una alta tolerancia a parámetros ambientales cambiantes para las actividades productivas.	No aplica para el proyecto.
G026	Identificar las áreas importantes para el mantenimiento de la conectividad ambiental en gradientes altitudinales y promover su conservación (o rehabilitación).	No aplica para el proyecto.
G027	Promover el uso de combustibles de no origen fósil.	No aplica para el proyecto.
G028	Promover el uso de energías renovables.	No aplica para el proyecto.
G029	Promover un aprovechamiento sustentable de la energía.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G030	Fomentar la producción y uso de equipos energéticamente más eficientes.	No aplica para el proyecto.
G031	Promover la sustitución a combustibles limpios, en los casos en que sea posible, por otros que emitan menos contaminantes que contribuyan al calentamiento global.	No aplica para el proyecto.
G032	Promover la generación y uso de energía a partir de hidrógeno.	No aplica para el proyecto.
G033	Promover la investigación y desarrollo en tecnologías limpias.	No aplica para el proyecto.
G034	Impulsar la reducción del consumo de energía de viviendas y edificaciones a través de la implementación de diseños bioclimático, el uso de nuevos materiales y de tecnologías limpias.	No aplica para el proyecto.
G035	Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones domésticas existentes.	No aplica para el proyecto.
G036	Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones industriales existentes.	No aplica para el proyecto.
G037	Elaborar modelos (sistemas mundiales de zonificación agroecológica) que permitan evaluar la sostenibilidad de la producción de cultivos; en diferentes condiciones del suelo, climáticas y del terreno.	No aplica para el proyecto.
G038	Evaluar la potencialidad del suelo para la captura de carbono.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G039	Promover y fortalecer la formulación e instrumentación de los ordenamientos ecológicos locales en el ASO.	No aplica para el proyecto.
G040	Fomentar la participación de las industrias en el Programa Nacional de Auditoría Ambiental.	No aplica para el proyecto.
G041	Fomentar la elaboración de Programas de Desarrollo Urbano en los principales centros de población de los municipios.	No aplica para el proyecto.
G042	Fomentar la inclusión de las industrias de todo tipo en el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) y promover el Sistema de Información de Sitios Contaminados en el marco del Programa Nacional de Restauración de Sitios Contaminados.	No aplica para el proyecto.
G043	LA SEMARNAT, considerará el contenido aplicable de este Programa. En su participación para la actualización de la Carta Nacional Pesquera, Asimismo, lo considerará en las medidas tendientes a la protección de quelonios, mamíferos marinos y especies bajo un estado especial de protección, que dicte de conformidad con la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable.	No aplica para el proyecto.
G044	Contribuir a la construcción y reforzamiento de las cadenas productivas y de comercialización interna y externa de las especies pesqueras.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G045	Consolidar el servicio de transporte público en las localidades nodales.	No aplica para el proyecto.
G046	Fomentar la ampliación o construcción de infraestructuras que liberen tránsito de paso, corredores congestionados y mejore el servicio de transporte.	No aplica para el proyecto.
G047	Impulsar la diversificación de actividades productivas.	No aplica para el proyecto.
G048	Instrumentar y apoyar campañas para la prevención ante la eventualidad de desastres naturales.	No aplica para el proyecto.
G049	Fortalecer la creación o consolidación de los comités de protección civil.	No aplica para el proyecto.
G050	Promover que las construcciones de las casas habitación sean resistentes a eventos hidrometeorológicos.	No aplica para el proyecto.
G051	Realizar campañas de concientización sobre el manejo adecuado de residuos sólidos urbanos.	No aplica para el proyecto.
G052	Implementar campañas de limpieza, particularmente en asentamientos suburbanos y urbanos (descacharrización, limpieza de solares, separación de basura, etc.).	No aplica para el proyecto.
G053	Instrumentar programas y mecanismos de reutilización de las aguas residuales tratadas.	No aplica para el proyecto.
G054	Promover en el sector industrial la instalación y operación adecuada de plantas de tratamiento para sus descargas.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
G055	La remoción parcial o total de vegetación forestal para el cambio de uso de suelo en terrenos forestales, o para el aprovechamiento de recursos maderables en terrenos forestales y preferentemente forestales, sólo podrá llevarse a cabo de conformidad con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y demás disposiciones jurídicas aplicables.	No aplica para el proyecto.
G056	Promover e impulsar la construcción y adecuada operación de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, peligrosos o de manejo especial de acuerdo a la normatividad vigente.	No aplica para el proyecto.
G057	Promover los estudios sobre los problemas de salud relacionados con los efectos del cambio climático.	No aplica para el proyecto.
G058	La gestión de residuos peligrosos deberá realizarse conforme a lo establecido por la legislación vigente y los lineamientos de la CICOPAFEST que resulten aplicables.	No aplica para el proyecto.
G059	El desarrollo de infraestructura dentro de un ANP, deberá ser consistente con la legislación aplicable, el Programa de Manejo y el Decreto de creación correspondiente.	No aplica para el proyecto.
G060	Ubicar la construcción de infraestructura costera en sitios donde se minimice el impacto sobre la vegetación acuática sumergida.	El proyecto considera la instalación de AA, la ubicación propuesta en primera instancia para su colocación, fue modificada dos veces a fin de minimizar el impacto sobre la vegetación acuática sumergida (zona de pastizales presentes en el área del proyecto).





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
		Esto se evidencia en el capítulo IV, donde el área programada a ser ocupada por los AA, corresponde a lajas con algas, con lo que se elimina el impacto sobre la vegetación acuática sumergida (pastos marinos), dando cumplimiento al presente criterio. Además, se considera la implementación del Programa de Manejo Ambiental y, en específico, el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, cuyo objetivo es determinar los criterios, metodologías y procedimientos para la protección, rescate, manejo y reubicación de los individuos de las especies de la fauna marina presentes en el área de afectación directa del proyecto.
G061	La construcción de infraestructura costera se deberá realizar con procesos y materiales que minimicen la contaminación del ambiente marino.	El proyecto considera, entre otras acciones, la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, mismos que tiene como finalidad evitar la erosión de la zona costera restableciendo la playa de la zona. Como se describió en el Capítulo II de la presente MIA-R, los AA constituyen piezas de roca caliza de la región que servir como refugio de especies marinas, debido a su



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acciones Generales	Vinculación con el proyecto
		porosidad. En cuanto a los andadores, éstos son hincados con pilotes o postes de madera dura de la región de tipo zapote, los cuales permitirán el libre paso de corrientes y sedimentos. De esta manera, se da cumplimiento a este criterio, ya que el material tanto de los AA como de los andadores, permiten minimizar la contaminación del ambiente marino.
G062	Implementar procesos de mejora de la actividad agropecuaria y aplicar mejores prácticas de manejo.	No aplica para el proyecto.
G063	Promover la elaboración de ordenamientos pesqueros y acuícolas a diferentes escalas y su vinculación con los ordenamientos ecológicos.	No aplica para el proyecto.
G064	La construcción de carreteras, caminos, puentes o vías férreas deberá evitar modificaciones en el comportamiento hidrológico de los flujos subterráneos o superficiales o atender dichas modificaciones en caso de que sean inevitables.	No aplica para el proyecto.
G065	La realización de obras y actividades en Áreas Naturales Protegidas, deberá contar con la opinión de la Dirección del ANP o en su caso de la Dirección Regional que corresponda, conforme lo establecido en el Decreto y Programa de Manejo del área respectiva.	El proyecto no se encuentra dentro de una ANP.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

El proyecto materia del presente manifiesto, por la escala que maneja el plano del POEMRGMMC recae dentro de la UGA Regional No. 138, denominada Benito Juárez, se encuentra en el municipio de Benito Juárez, en el estado de Quintana Roo, tiene una extensión de 225,770.386 ha, con una población de 573,325 habitantes, le son aplicables Criterios de Zona costera Inmediata Mar Caribe, dentro de la extensión de la UGA existen puertos turísticos, comerciales y pesqueros. En la siguiente tabla, se describen los criterios aplicables a dicha UGA y su vinculación jurídica con el proyecto:

**Tabla 19.** Acciones específicas de la UGA 138 del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y su Vinculación Jurídica del proyecto.

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-005	Fomentar la reducción de pérdida de agua durante los procesos de distribución de la misma.	No aplica para el proyecto.
A-006	Implementar programas para la captación de agua de lluvia y el uso de aguas grises.	No aplica para el proyecto.
A-007	Promover la constitución de áreas destinadas voluntariamente a la conservación o ANP en áreas aptas para la conservación o restauración de ecosistemas naturales.	No aplica para el proyecto.
A-008	Evitar las actividades humanas en las playas de anidación de tortugas marinas, salvo aquellas que estén autorizadas en los programas de conservación.	El proyecto no desarrollará actividades humanas en la playa. Además, como se describe en el Capítulo VI de la presente MIA-R, la playa del Hotel asociado al proyecto, no registra una tasa de anidación de tortugas alta (6.63 nidos por temporada). No obstante, la promotora cuenta actualmente con un Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		<p>Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo, el cual incluye acciones de vigilancia, cuidados de nidos, concientización, marcaje, registro y monitoreo de nidos. Además, el promovente cuenta con un Reglamento de Control Ambiental que incluye medidas preventivas con las cuales no será necesario el traslado de los huevos, por lo que marcarlas con una banderola será suficiente. Finalmente, en el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, como objetivo particular se contempla la implementación, en caso de ser necesario, de medidas de mitigación o compensación, adicionales derivadas de los posibles impactos no previstos, las cuales contemplan a la conservación y protección de la tortuga marinas.</p>
A-009	Fortalecer la inspección y vigilancia en las zonas de anidación y reproducción de las tortugas marinas.	<p>Debido a que la playa del Hotel al cual está asociado al proyecto, forma parte de una zona con presencia de Tortugas Marinas, el promovente lleva a cabo actualmente el “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”, el cual incluye acciones de vigilancia,</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		protección, concientización, cuidados, marcaje, registro y monitoreo de nidos, así como mantenimiento de las condiciones idóneas para su anidación, aún y cuando la playa del Hotel asociado al proyecto, no registra una tasa de anidación de tortugas alta (6.63 nidos por temporada). Este Programa de Manejo de Tortuga se implementa con el propósito de fortalecer la inspección y vigilancia en las zonas de anidación y reproducción de las tortugas marinas. Dicho programa seguirá efectuándose a fin de seguir fortaleciendo las actividades aquí encomendadas.
A-010	Fortalecer el apoyo económico de las actividades de conservación de las tortugas marinas.	Como se indicó anteriormente, el Hotel asociado al proyecto, implementa el “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”, mismos que continuará implementándose, lo que representa un apoyo económico de las actividades de conservación de las tortugas marinas, ya que la ejecución de dichas actividades, requiere del pago de diversos



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		elementos, como salario a especialistas, combustibles y materiales entre otros.
A-011	Establecer e impulsar programas de restauración y recuperación de la cobertura vegetal original para revertir el avance de la frontera agropecuaria.	No aplica para el proyecto.
A-012	Promover la preservación de las dunas costeras y su vegetación natural, a través de la ubicación de la infraestructura detrás del cordón de dunas frontales.	No aplica para el proyecto, dado que no se considera la instalación de infraestructura en la zona terrestre. El proyecto generará mejoras ambientales al ayudar a disminuir la erosión del área y con ello el retroceso de la línea de costa traduciéndose además en beneficios para la recreación y seguridad de los visitantes y para la biota que habita el sitio.
A-013	Establecer las medidas necesarias para evitar la introducción de especies potencialmente invasoras por actividades marítimas en los términos establecidos por los artículos 76 y 77 de la Ley de Navegación y Comercio Marítimo.	No aplica para el proyecto, ya que no se considera el desarrollo de actividades marítimas.
A-014	Instrumentar campañas de restauración, reforestación y recuperación de manglares y otros humedales en las zonas de mayor viabilidad ecológica.	En el sitio del proyecto, no hay presencia de manglares y humedales, por lo que no generará afectaciones a dichos elementos naturales.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-015	Promover e impulsar la reubicación de instalaciones que se encuentran sobre las dunas arenosas en la zona costera del ASO.	No aplica para el proyecto.
A-016	Establecer corredores biológicos para conectar las ANP existentes o las áreas en buen estado de conservación dentro del ASO.	No aplica para el proyecto.
A-017	Establecer e impulsar programas de restauración, reforestación y recuperación de zonas degradadas.	No aplica para el proyecto.
A-018	Promover acciones de protección y recuperación de especies bajo algún régimen de protección considerando en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre -Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (NOM-059 SEMARNAT-2010).	En el sitio del proyecto se detectó, derivado del monitoreo de la zona, la presencia de dos especies de gorgonáceos ( <i>Plexaura homomalla</i> y <i>Plexaura dichotoma</i> ), tres especies de peces ( <i>Scarus iseri</i> , <i>Sparisoma radians</i> y <i>Sparisoma viridae</i> ) y dos especies de pastos marinos ( <i>Syringodium filiforme</i> y <i>Thalassia testudinum</i> ) mismos que están bajo alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059 SEMARNAT-2010. Para la protección de estas especies, se incluyeron acciones en el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, el cual tiene como objetivo general, establecer criterios, metodologías y





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		<p>procedimientos para la protección, rescate, manejo y reubicación de los individuos de las especies de la fauna marina presentes en el área de afectación directa del proyecto. Así mismo se considera como parte de las medidas, la restauración activa, lo cual permitirá el establecimiento de diversas especies entre las que se pueden encontrar los gorgonáceos, ya que las estructuras propuestas proveen un sustrato adecuado para la fijación de estos organismos. Asimismo, a través del monitoreo de la zona, también se registró la presencia de tortugas marinas en las playas adyacentes al SAR, mismas que están bajo la categoría de “En peligro de extinción”, por lo que el promovente lleva a cabo actualmente el “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”, el cual incluye acciones de vigilancia, protección, concientización, cuidados, marcaje, registro y monitoreo de nidos, así como mantenimiento de las condiciones idóneas para su anidación, aún y cuando la playa del Hotel asociado al</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		proyecto, no registra una tasa de anidación de tortugas alta (6.63 nidos por temporada).
A-019	Los programas de remediación que se implementen, deberán ser formulados y aprobados de conformidad con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, y demás normatividad aplicable.	No aplica para el proyecto. No se generarán residuos peligrosos, sin embargo, dentro del Subprograma de Acciones Independientes, se contemplan medidas para evitar el vertimiento de sustancias o residuos que puedan alterar el agua marina o el ecosistema marino, referidas a las reglas de operación del personal, de manejo de residuos y acciones adicionales en áreas terrestres.
A-021	Fortalecer los mecanismos de control de emisiones y descargas para mejorar la calidad del aire, agua y suelos, particularmente en las zonas industriales y urbanas del ASO.	No aplica para el proyecto.
A-022	Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por los hidrocarburos.	No aplica para el proyecto.
A-023	Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por los hidrocarburos.	No aplica para el proyecto.
A-024	Fomentar la aplicación de medidas preventivas y correctivas de contaminación del suelo con base a riesgo ambiental, así como la aplicación de acciones inmediatas o de emergencia y tecnologías para la	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
	remediación in situ, en términos de la legislación aplicable.	
A-025	Promover la participación de las industrias en acciones tendientes a una gestión adecuada de residuos peligrosos, con el objeto de prevenir la contaminación de suelos y fomentar su preservación.	No aplica para el proyecto.
A-026	Promover e impulsar el uso de tecnologías "Limpias" y "Ambientalmente amigables" en las industrias registradas en el ASO y su área de influencia. Fomentar que las industrias que se establezcan cuenten con las tecnologías de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.	No aplica para el proyecto.
A-027	Mantener al mínimo posible la superficie ocupada por las instalaciones de infraestructura en las playas para evitar su perturbación.	La superficie que será ocupada para la instalación de los AA no será en la zona de playa. El proyecto no instalará infraestructura en la playa para evitar su perturbación.
A-028	Promover las medidas necesarias para que la instalación de infraestructura de ocupación permanente sobre el primero o segundo cordón de dunas eviten generar efectos negativos sobre su estructura o función ecosistémica.	No aplica para el proyecto.
A-029	Promover la preservación del perfil de la costa y los patrones naturales de circulación de las corrientes	El proyecto contempla la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
	alineadas a la costa, salvo cuando dichas modificaciones correspondan a proyectos de infraestructura que tengan por objeto mitigar o remediar los efectos causados por alguna contingencia meteorológica o desastre natural.	de madera, con objeto de evitar la erosión de la playa, así como el relleno de la misma a fin de que se restablezca su estado original, a su vez, ello contribuirá a la preservación del perfil de la costa, manteniendo los patrones naturales de circulación de las corrientes alineadas a la misma; además, mediante la implementación del Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero podrán detectarse cambios no deseados o esperados en la playa por efecto de alguna actuación o intervención en las inmediaciones de la frontera tierra-mar.
A-030	Generar o adaptar tecnologías constructivas y de ingeniería que minimicen la afectación al perfil costero y a los patrones de circulación de aguas costeras.	Dadas las condiciones de erosión presentes actualmente en la playa, el proyecto plantea instalar Arrecifes Artificiales, los cuales consideran en su construcción, tecnologías de ingeniería y de construcción que minimicen la afectación al perfil costero. Dichas estructuras se diseñaron con base en los modelos generados para el proyecto. Es importante señalar, que tampoco se generará ningún tipo de afectación a los patrones de circulación de aguas costeras; por el contrario, el proyecto

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		<p>considera reestablecer la dinámica natural, al sustituir las estructuras que actualmente se presentan y que interrumpen el flujo de agua, coadyuvando a devolver el patrón de circulación de las aguas costeras que se presentaba en la zona antes de la colocación de dichas estructuras.</p> <p>Los arrecifes artificiales proyectados frente a la playa colindante con el Hotel asociado al proyecto, contribuirán a reducir la fuerza del oleaje, permitir el transporte de sedimento a zonas contiguas y estabilizar el frente de playa. Así mismo, con la implementación del Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero, se detectarán los cambios en la playa, a fin de identificar si estos son los esperados o se requiere la implementación de alguna acción adicional.</p>
A-031	Promover la preservación de las características naturales de las barras arenosas que limitan los sistemas lagunares costeros.	<p>El proyecto tiene como finalidad restablecer las condiciones de la playa, evitar la erosión de playa y con ello, contribuir a la preservación de las características naturales de la misma, mediante la acumulación de sedimentos. Además de la regeneración del ancho de la</p>





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		playa mediante su relleno, utilizando arena compatible a la existente en el sitio. Cabe mencionar que, adyacente a la playa no existen sistemas lagunares costeros.
A-032	Promover el mantenimiento de las características naturales, físicas y químicas de playas y dunas costeras.	El proyecto tiene como finalidad restablecer las condiciones de la playa, evitar la erosión costera y con esto, preservar la playa mediante la acumulación de sedimentos de manera natural, con lo cual no se afectarán las características físicas y químicas de la playa.
A-033	Fomentar el aprovechamiento de la energía eólica, excepto cuando su infraestructura pueda afectar corredores de especies migratorias.	No aplica para el proyecto.
A-037	Promover la generación energética por medio de energía solar.	No aplica para el proyecto.
A-038	Impulsar el uso de los residuos agrícolas para la generación de energía y reducir los riesgos de incendios forestales en las regiones más secas.	No aplica para el proyecto.
A-040	Impulsar la sustitución de las actividades de pesca extractiva por actividades de producción acuícola con especies nativas de la zona en la cual se aplica el programa y con tecnologías que no contaminen el	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
	ambiente y cuya infraestructura no afecte los sistemas naturales.	
A-044	Diversificar la base de especies en explotación comercial en las pesquerías.	No aplica para el proyecto.
A-046	Incentivar el cumplimiento de los mecanismos existentes para controlar el vertido y disposición de residuos de embarcaciones, en las porciones marinas tanto costeras como oceánicas.	El proyecto utilizará embarcaciones pequeñas menores, en caso que sea necesario el reacomodo de las piezas que conformarán los AA. Asimismo, dentro del Subprograma de Acciones Independientes, se contemplan medidas para evitar cualquier vertido o disposición de residuo, ocasionadas por la operación del personal.
A-050b	Promover el desarrollo de Programas de Desarrollo Urbano y Programas de Conurbación con el fin de dotar de infraestructura de servicios a las comunidades rurales.	No aplica para el proyecto.
A-051	Promover la construcción de caminos rurales, de terracería o revestidos entre las localidades estratégicas para mejorar la comunicación.	No aplica para el proyecto.
A-052	Promover el uso sostenible de la tierra/agricultura (cultivos, ganado, pastos y praderas, y bosques) y prácticas de manejo y tecnología que favorezcan la captura de carbono.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-053	Desincentivar y evitar el desarrollo de actividades productivas extensivas.	No aplica para el proyecto.
A-054	Promover la sustitución de tecnologías extensivas por intensivas en las actividades acordes a la aptitud territorial, utilizando esquemas de manejo y tecnología adecuada para minimizar el impacto ambiental.	No aplica para el proyecto.
A-055	Coordinar los programas de gobierno que apoyan a la producción agropecuaria para actuar sinérgicamente sobre el territorio y la población que lo ocupa.	No aplica para el proyecto.
A-057	Evitar el establecimiento de zonas urbanas en zonas de riesgo industrial, zonas de riesgo ante eventos naturales, zonas susceptibles de inundación y derrumbe, zonas de restauración ecológica, en humedales, dunas costeras y manglares.	No aplica para el proyecto.
A-058	Realizar campañas para reubicar a personas fuera de las zonas de riesgo.	No aplica para el proyecto.
A-059	Identificar, reforzar o dotar de equipamiento básico a las localidades estratégicas para la conservación y/o el desarrollo sustentable.	No aplica para el proyecto.
A-060	Establecer y mejorar sistemas de alerta temprana ante eventos hidrometeorológicos extremos.	No aplica para el proyecto. Sin embargo, la naturaleza del proyecto ayudará a evitar que los eventos hidrometeorológicos extremos dañen la playa, pues los AA servirán como



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		barrera artificial, evitando la erosión de la zona costera.
A-061	Mejorar las condiciones de las viviendas y de infraestructura social y comunitaria en las localidades de mayor marginación.	No aplica para el proyecto.
A-062	Fortalecer y consolidar las capacidades organizativas y de infraestructura para el manejo adecuado y disposición final de residuos peligrosos y de manejo especial. Asegurar el Manejo Integral de los Residuos Peligrosos.	No aplica para el proyecto.
A-063	Instalar nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y optimizar las ya existentes.	No aplica para el proyecto.
A-064	Completar la conexión de las viviendas al sistema de colección de aguas residuales municipales y a las plantas de tratamiento.	No aplica para el proyecto.
A-065	Instrumentar programas de recuperación y mejoramiento de suelos mediante el uso de lodos inactivados de las plantas de tratamiento de aguas servidas municipales.	No aplica para el proyecto.
A-066	Incrementar la capacidad de tratamiento de las plantas para dar tratamiento terciario a los efluentes e inyectar aguas de mayor calidad al manto freático en apoyo, en su caso, a la restauración de humedales.	No aplica para el proyecto.
A-067	Incrementar la capacidad de captación de aguas pluviales en las zonas urbanas y turísticas.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-068	Promover el manejo integral de los residuos sólidos, peligrosos y de manejo especial para evitar su impacto ambiental en el mar y zona costera.	Durante el desarrollo del proyecto, se llevarán a cabo acciones para el manejo integral de los residuos sólidos, peligrosos y de manejo especial para evitar su impacto ambiental en el mar y zona costera, a través del Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos, Q. Roo (Anexo V.2) que actualmente implementa el Hotel asociado al proyecto.
A-069	Promover el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos, peligrosos y de manejo especial para evitar su disposición en el mar.	No aplica para el proyecto. No obstante, se indica que los residuos serán tratados y dispuestos de acuerdo con el Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos, Q. Roo (Anexo V.2) para evitar su disposición en el mar.
A-070	Realizar campañas de colecta y concentración de residuos sólidos urbanos en la zona costera para su disposición final.	No aplica para el proyecto.
A-071	Diseñar e instrumentar acciones coordinadas entre sector turismo y sector conservación para reducir al mínimo la afectación de los ecosistemas en zonas turísticas y	El proyecto se encuentra en una zona de alta actividad turística, mismo que con su realización generará la recuperación de la

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
	aprovechar al máximo el potencial turístico de los recursos. Impulsar y fortalecer las redes de turismo de la naturaleza (ecoturismo) en todas sus modalidades como una alternativa al desarrollo local respetando los criterios de sustentabilidad según la norma correspondiente.	playa preservando la belleza natural de la costa, así como la regeneración del ancho de la playa seca, lo cual se traduce en un atractivo turístico. Aunado a lo anterior, y como parte del “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo” y del “Reglamento de Control Ambiental”, existirá Acciones de Educación Ambiental, que tiene como finalidad la conservación y protección de dichas especies, participando en las acciones residentes, visitantes y empleados del Hotel Asociado al proyecto.
A-072	Promover que la operación de desarrollos turísticos se haga con criterios de sustentabilidad ambiental y social, a través de certificaciones ambientales nacionales o internacionales, u otros mecanismos.	No aplica para el proyecto.
A-073	Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de gran tamaño de apoyo al turismo (embarcaciones mayores de 500 TRB (toneladas de registro bruto) y/o 49 pies de eslora), con obras sustentadas en estudios específicos, modelaciones predictivas y programas de monitoreo, que garanticen la no afectación de los recursos naturales.	No aplica para el proyecto.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-074	Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de gran tamaño de apoyo al tráfico comercial de mercancías (embarcaciones mayores de 500 TRB (toneladas de registro bruto) y/o 49 pies de eslora); con obras sustentadas en estudios específicos, modelaciones predictivas y programas de monitoreo, que garanticen la no afectación de los recursos naturales.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

La UGA No. 178 denominada Zona Marina de Competencia Federal, misma que consta de una superficie de 311,046.005 hectáreas, con una población contabilizada de 0 habitantes, dentro de la delimitación de dicha UGA no se encuentran instalaciones portuarias, de tipo turístico, comercial o pesquero.

De conformidad con lo anterior, las siguientes tablas, contienen los criterios aplicables para la UGA Marina No. 178, en donde se encuentra el proyecto tema del presente manifiesto:

**Tabla 20.** Acciones específicas de la UGA 178 del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y su Vinculación Jurídica del Proyecto.

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-007	Promover la constitución de áreas destinadas voluntariamente a la conservación o ANP en áreas aptas para la conservación o restauración de ecosistemas naturales.	No aplica para el proyecto. No aplica para el proyecto. Sin embargo, Hotel asociado al proyecto, está comprometido con la conservación y protección de especies, por lo que actualmente cuenta con el “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo” y como parte del Programa de Manejo Ambiental, dentro de su Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, se busca la protección, rescate, manejo y reubicación de los individuos de las especies de la fauna marina presentes en el área de afectación directa del proyecto.
A-013	Establecer las medidas necesarias para evitar la introducción de especies potencialmente invasoras por actividades	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
	marítimas en los términos establecidos por los artículos 76 y 77 de la Ley de Navegación y Comercio Marítimo.	
A-016	Establecer corredores biológicos para conectar las ANP existentes o las áreas en buen estado de conservación dentro del ASO.	No aplica para el proyecto.
A-018	Promover acciones de protección y recuperación de especies bajo algún régimen de protección considerando en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre -Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (NOM-059 SEMARNAT-2010).	La presente MIA-R contempla la implementación de acciones de protección y recuperación de especies bajo algún régimen de protección considerando a las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, las cuales, a través del Programa de Manejo Ambiental, y en particular, mediante el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, se dará prioridad a la protección de aquellas especies que puedan llegar a sufrir posibles afectaciones en cada etapa del proyecto. En relación con las tortugas marinas, de manera conjunta con dicho subprograma, se observará su protección con el actual “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”, además de implementar acciones de restauración.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-022	Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por los hidrocarburos.	No aplica para el proyecto.
A-025	Promover la participación de las industrias en acciones tendientes a una gestión adecuada de residuos peligrosos, con el objeto de prevenir la contaminación de suelos y fomentar su preservación.	No aplica para el proyecto.
A-029	Promover la preservación del perfil de la costa y los patrones naturales de circulación de las corrientes alineadas a la costa, salvo cuando dichas modificaciones correspondan a proyectos de infraestructura que tengan por objeto mitigar o remediar los efectos causados por alguna contingencia meteorológica o desastre natural.	El proyecto contempla la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, con el fin de evitar la erosión de la playa así como el relleno de la misma y recuperar su estado original, a su vez, ello contribuirá a la preservación del perfil de la costa, manteniendo los patrones naturales de circulación de las corrientes alineadas a la misma. Además, como medida preventiva se monitoreará el perfil costero, a través del Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero.
A-033	Fomentar el aprovechamiento de la energía eólica, excepto cuando su infraestructura pueda afectar corredores de especies migratorias.	No aplica para el proyecto.
A-034	Promover mecanismos de generación de energía eléctrica usando la fuerza mareomotriz.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
A-040	Impulsar la sustitución de las actividades de pesca extractiva por actividades de producción acuícola con especies nativas de la zona en la cual se aplica el programa y con tecnologías que no contaminen el ambiente y cuya infraestructura no afecte los sistemas naturales.	No aplica para el proyecto.
A-041	Fortalecer los mecanismos de seguimiento y control de las pesquerías comerciales para evitar su sobreexplotación.	No aplica para el proyecto.
A-042	Instrumentar o en su caso reforzar las campañas de vigilancia de las actividades extractivas de especies marinas de captura comercial, especialmente aquellas que se encuentran en las categorías en deterioro o en su límite máximo de explotación.	No aplica para el proyecto.
A-044	Diversificar la base de especies en explotación comercial en las pesquerías.	No aplica para el proyecto.
A-045	Desarrollar e impulsar el uso de la fauna de acompañamiento, salvo las especies que se encuentran en algún régimen de protección, para la producción comercial de harinas y complementos nutricionales.	No aplica para el proyecto.
A-046	Incentivar el cumplimiento de los mecanismos existentes para controlar el vertido y disposición de residuos de embarcaciones, en las porciones marinas tanto costeras como oceánicas.	El proyecto utilizará embarcaciones pequeñas menores, en caso que sea necesario el reacomodo de las piezas que conformarán los AA. Asimismo, dentro del Subprograma de Acciones Independientes, se contemplan



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		medidas para evitar cualquier vertido o disposición de residuos.
A-047	Monitorear las comunidades planctónicas y áreas de mayor productividad marina para ligar los programas de manejo de pesquerías de manera predictiva con estos elementos.	No aplica para el proyecto.
A-048	Contribuir a redimensionar y ajustar las flotas pesqueras y los esfuerzos de captura a las capacidades y estados actuales y previsibles de las poblaciones en explotación.	No aplica para el proyecto.
A-071	Diseñar e instrumentar acciones coordinadas entre sector turismo y sector conservación para reducir al mínimo la afectación de los ecosistemas en zonas turísticas y aprovechar al máximo el potencial turístico de los recursos. Impulsar y fortalecer las redes de turismo de la naturaleza (ecoturismo) en todas sus modalidades como una alternativa al desarrollo local respetando los criterios de sustentabilidad según la norma correspondiente.	El proyecto se encuentra en una zona de alta actividad turística, sin embargo, el objetivo del proyecto es la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, con el fin de evitar la erosión de la playa, y el relleno de la misma a fin de recuperar su estado original y preservar la belleza natural de la costa y con ello aprovechar al máximo el potencial turístico de los recursos. Aunado a lo anterior, y como parte del “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”, existirán Acciones de Educación Ambiental, que tiene como finalidad la conservación y protección de dichas especies, participando en las acciones





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Acción Específica	Vinculación con el proyecto
		residentes, visitantes y empleados del Hotel Asociado al proyecto.
A-073	Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de gran tamaño de apoyo al turismo (embarcaciones mayores de 500 TRB (toneladas de registro bruto) y/o 49 pies de eslora), con obras sustentadas en estudios específicos, modelaciones predictivas y programas de monitoreo, que garanticen la no afectación de los recursos naturales.	No aplica para el proyecto.
A-074	Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de gran tamaño de apoyo al tráfico comercial de mercancías (embarcaciones mayores de 500 TRB (toneladas de registro bruto) y/o 49 pies de eslora); con obras sustentadas en estudios específicos, modelaciones predictivas y programas de monitoreo, que garanticen la no afectación de los recursos naturales.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

La UGA 138 y 178, en donde se ubica el proyecto materia del presente manifiesto, se encuentra la subregión denominada Zona Costera Inmediata Mar Caribe, zona cuyos Criterios de Regulación Ecológica, corresponden en su mayoría a las características naturales, por su riqueza en formaciones arrecifales y su intenso uso turístico, criterios que se refieren dentro del contenido de la tabla siguiente y su vinculación jurídica con el proyecto:

**Tabla 21.** Criterios de Regulación Ecológica, de la Zona Costera Inmediata del Mar Caribe, aplicable a la UGA 138 y 178 del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y su Vinculación Jurídica del Proyecto.

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
ZMC-01	Con el fin de proteger y preservar las comunidades arrecifales, principalmente las de mayor extensión, y/o riqueza de especies en la zona, y aquellas que representan valores culturales particulares, se recomienda no construir ningún tipo de infraestructura en las áreas ocupadas por dichas formaciones.	Dentro de la ubicación del proyecto no se encuentran formaciones arrecifales, tal como se describe en el presente manifiesto. La instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, permitirá preservar los recursos naturales, ya que minimizará la erosión en la zona de playa del Hotel asociado al proyecto, motivo por el cual la instalación de los AA permitirá mantener los sedimentos sin que afecten a las comunidades de corales presentes en el SAR.
ZMC-02	Dado que los pastos marinos representan importantes ecosistemas para la fauna marina, debe promoverse su conservación y preservación, por lo que se debe evitar su afectación y pérdida en caso de alguna actividad o proyecto. La evaluación del impacto ambiental correspondiente deberá realizarse	Dentro de la realización de las actividades del proyecto no se afectará ni se producirá pérdida del ecosistema conformado por pastos marinos. Cabe destacar que los AA planeados fueron reubicados dos veces antes de la ubicación final que se presenta en esta MIA-R como la mejor alternativa,



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
	<p>conforme a lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como a las demás disposiciones jurídicas que resulten aplicables.</p>	<p>pues en las dos propuestas iniciales se presentaban grandes extensiones de pastizales marinos que podían ser dañados. Ante esto, y como muestra del compromiso ambiental que el promovente posee y para dar cumplimiento a este precepto, se acordó que la mejor alternativa de localización para promover la conservación y preservación, así como evitar la afectación y pérdida de los pastos marinos, y para que los AA puedan funcionar de manera correcta, con base en el estudio técnico de ingeniería, es la que se presenta en este manifiesto. La zona en la que se pretenden instalar los AA, no se presentan pastos marinos, cercanos a las áreas propuestas para la instalación de los AA se presenta sólo algunos pequeños manchones de pastos marinos (aproximadamente de 1 m) ubicados entre las oquedades de la laja donde se ha llegado acumular sedimento, sin cubrir grandes extensiones, que es una de las características principales de los pastos marinos (Phillips 1992). Prácticamente todos los organismos en estos manchones, están dañados fuertemente por el arribo masivo de sargazo presentando hojas cafés y con epífitas, por el incremento de materia orgánica que genera la</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
		<p>presencia de esta alga. Es así que no se causarán afectaciones de los pastos marinos pues éstos muestran signos de alteración y daño previo por el arribo de sargazo, sin causar ningún daño o pérdida a las praderas de pastizales mixtos detectados en el SAR.</p> <p>Se reitera dentro del presente manifiesto, el interés pleno de proteger a la flora y fauna que pudiera verse afectada por la realización del proyecto, tal y como se describe en el Programa de Manejo Ambiental.</p>
ZMC-03	Sólo se permitirá la captura de mamíferos marinos, aves y reptiles para fines de investigación, rescate y traslado con fines de conservación y preservación, conforme a lo dispuesto en la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables.	No aplica para el proyecto, debido a que no se considera la captura de mamíferos marinos, aves o reptiles.
ZMC-04	Con el fin de preservar zonas coralinas, principalmente las más representativas por su extensión, riqueza y especies presentes, la ubicación y construcción de posibles puntos de anclaje deberán estar sujetas a estudios específicos que la autoridad correspondiente solicite.	No aplica para el proyecto, las estructuras a colocar (arrecifes artificiales), se ubican fuera de estas zonas.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
ZMC-05	La recolección, remoción o trasplante de organismos vivos o muertos en las zonas arrecifales u otros ecosistemas representativos, sólo podrá llevarse a cabo bajo las disposiciones aplicables de la Ley General de Vida Silvestre y demás normatividad aplicable.	El proyecto contempla un Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, mismo que tiene como finalidad evitar las afectaciones a las especies que se ubiquen en el sitio del proyecto, el cual se realizará mediante una brigada de especialistas para llevar a cabo el rescate de la fauna marina. Lo anterior siempre considerando la normatividad aplicable.
ZMC-06	La construcción de estructuras promotoras de playas deberá estar avaladas por las autoridades competentes y contar con los estudios técnicos y específicos que la autoridad requiera para este fin.	El proyecto contempla la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera, con el fin de evitar la erosión, permitir el libre flujo de agua, el transporte de sedimento hacia la playa y promover la recuperación de playa, para lo cual se realizaron los estudios técnicos de ingeniería, dinámica costera y caracterización de flora y fauna marina, entre otros, que se encuentran soportando el presente Manifiesto, a efecto de que la autoridad cuente con elementos para emitir la resolución respectiva.
ZMC-07	Como una medida preventiva para evitar contaminación marina no debe permitirse el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos de ningún tipo en los cuerpos de agua en esta zona.	No aplica para el proyecto, ya que no se considera vertimiento de hidrocarburos o productos químicos. No obstante, en el Subprograma de Acciones Independientes, se contemplan medidas preventivas para evitar contaminación marina



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
		prohibiéndose el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos en los cuerpos de agua en esta zona.
ZMC-08	Con el objeto de coadyuvar en la preservación de las especies de tortugas que año con año arriban en esta zona costera, es recomendable que las actividades recreativas marinas eviten llevarse a cabo entre el ocaso y el amanecer, esto en la temporada de anidación, principalmente en aquellos sitios de mayor incidencia de dichas especies.	Las actividades que contempla el proyecto, aunque no son recreativas, pueden incidir en el arribo de las tortugas, es así que el Programa de Manejo Ambiental y en específico el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina contempla la protección de especies que puedan sufrir algún tipo de afectación por la realización del proyecto. Asimismo, las actividades de instalación de los AA y la sustitución de los espigones por andadores de madera, se llevarán a cabo dentro de un horario diurno para evitar afectaciones a las especies que se localicen en las inmediaciones del sitio.
ZMC-9	Con el objetivo de preservar las comunidades arrecifales en la zona, es importante que cualquier actividad que se lleve a cabo en ellos y su zona de influencia estén sujetas a permisos avalados que garanticen que dichas actividades no tendrán impactos adversos sobre los valores naturales o culturales de los arrecifes, con base en estudios	En el sitio del proyecto se detectó un detractamiento en el arrecife natural, por lo que la instalación de los AA y los andadores, generaría la protección de estos. Cabe señalar que la ubicación, tipo y diseño de los AA fue obtenido a través modelos, alimentados con información de estudios técnicos de dinámica costera y considerando también, la caracterización ambiental, por lo que con la





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
	específicos que determinen la capacidad de carga de los mismos.	instalación del AA se contribuirá a preservar las comunidades naturales al quitarles presión por parte de los visitantes a esos sitios, es así que no se tendrán impactos adversos sobre los arrecifes.
ZMC-10	Con el fin de prevenir la contaminación y deterioro de las zonas marinas, es recomendable la difusión de las normas ambientales correspondientes en toda actividad náutica en la zona.	El proyecto utilizará embarcaciones pequeñas menores, en caso que sea necesario el reacomodo de las piezas que conformarán los AA, mismas que seguirán las medidas necesarias para evitar cualquier afectación contenidas dentro del Subprograma de Acciones Independientes.
ZMC-11	Se requerirá que, en caso de alguna actividad relacionada con obras de canalización y dragado debidamente autorizadas, se utilicen mallas geotextiles y otras tecnologías que eviten la suspensión y dispersión de sedimentos, en el caso de que exista el riesgo de que se afecten o resulten dañados recursos naturales por estas obras.	No aplica para el proyecto, sin embargo, como puede presentarse dispersión de sedimentos durante las actividades que conlleva el proyecto, se instalaran mallas geotextiles que mantengan los sedimentos dentro del área delimitada a fin de evitar cualquier tipo de afectación a los recursos naturales.
ZMC-12	La construcción de proyectos relacionados con muelles de gran tamaño (para embarcaciones mayores de 500TRB [Toneladas de Registro Bruto] y/o 49 pies de eslora), deberá incluir medidas para mantener los procesos de transporte litoral y la calidad del agua marina, así como para evitar la	No aplica para el proyecto. Toda vez que el proyecto no contempla la construcción de muelles.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
	afectación de comunidades marinas presentes en la zona.	
ZMC-13	Las embarcaciones utilizadas para la pesca comercial o deportiva deberán portar los colores y claves distintivas asignadas por la Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura, en los Lineamientos para los Mecanismos de Identificación y Control del Esfuerzo Pesquero, así como el permiso de pesca correspondiente.	No aplica para el proyecto.
ZMC-14	Por las características de gran volumen de los efluentes subterráneos de los sistemas asociados a la zona oriente de la Península de Yucatán y por la importancia que revisten los humedales como mecanismo de protección del ecosistema marino ante el arrastre de contaminantes de origen terrígeno en particular para esta región los fosfatos y algunos metales pesados producto de los desperdicios generados por el turismo, se recomienda en las UGA regionales correspondientes (UGA:139, UGA:152 y UGA:156) estudiar la factibilidad y promover la creación de áreas de protección mediante políticas, estrategias y control de uso del suelo en esquemas como los Ordenamientos Ecológicos locales o mediante el establecimiento de ANP federales,	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio de Regulación Ecológica	Vinculación con el proyecto
	estatales, municipales, o áreas destinadas voluntariamente a la conservación que actúen de manera sinérgica para conservar los atributos del sistema costero colindante y contribuyan a completar un corredor de áreas protegidas sobre toda la zona costera del Canal de Yucatán y Mar Caribe, en particular para mantener o restaurar la conectividad de los sistemas de humedales de la Península de Yucatán.	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Conforme a lo antes dicho, la UGA 178, le aplican los criterios de la Zona Costera Inmediata al Municipio de Solidaridad. Sin embargo, el proyecto se encuentra fuera del área de la Zona Costera Inmediata al Municipio de Solidaridad, ubicándose en el municipio de Puerto Morelos, anteriormente parte del Municipio Benito Juárez.

Por otro lado, la UGA 178, del POEMRGMMC, le son aplicables Criterios de Regulación para Islas, mismos que tienen como finalidad la conservación de los recursos naturales de dichas extensiones de territorio, dentro del Programa hay dos tipos de condiciones distintas, desde el punto de vista del manejo:

- En primer lugar, se encuentran islas relativamente grandes, mismas que se han clasificado en UGAs independientes según el POEMRGMMC, como lo son la isla de Cozumel.
- El segundo lugar, se integran por islas más pequeñas, con atributos entre sí, que hace posible su agrupación y la asignación de acciones específicas, para su salvaguarda y protección.

Al respecto cabe señalar que ninguna de estas condiciones se presenta en el área del proyecto.

### III.3.1.3 Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Denominada Corredor Cancún-Tulum

El Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Denominada Corredor Cancún Tulum (POETRDCCCT)<sup>31</sup>, tiene por objetivo, alentar un desarrollo turístico e infraestructura de servicios congruentes a políticas ambientales que permitan la permanencia de sus recursos naturales sin llegar al conservacionismo extremo o a un desarrollo sin límites que provoque deterioro y pueda conducir a la destrucción de una de las regiones del Caribe Mexicano que aún conserva su belleza y valor ecológico.

La Región del Corredor Cancún-Tulum, se localiza en la costa norte del Estado de Quintana Roo, que involucra los municipios de Benito Juárez, Puerto Morelos,

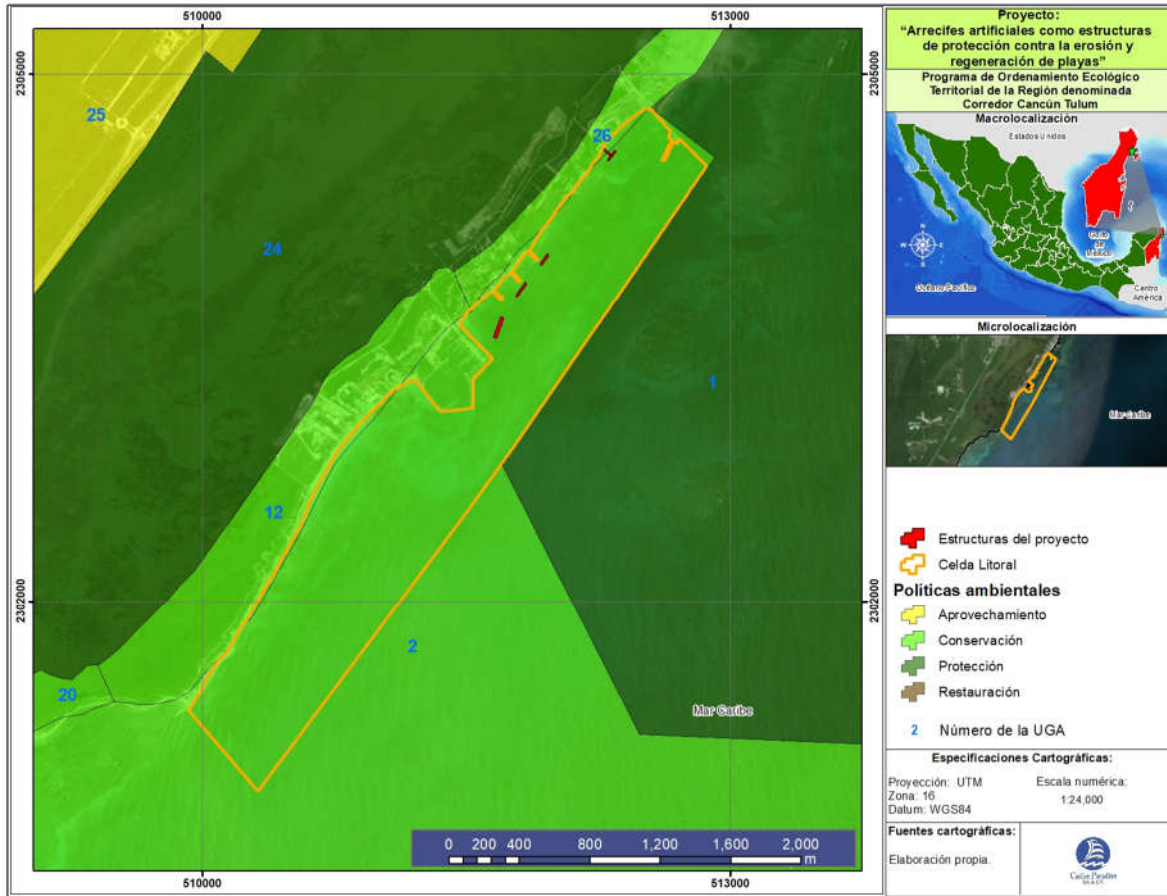
---

<sup>31</sup> Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Denominada Corredor Cancún-Tulum, México, Diario Oficial de la Federación, 16 de noviembre de 2001.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Cozumel y Solidaridad, el Corredor se caracteriza por su gran riqueza y amplia diversidad de comunidades vegetales.



**Figura 3.** Ubicación de la UGA M-2 del POETRDCT y la ubicación del proyecto.

De la anterior, se muestra que el proyecto en cuestión, se localiza dentro de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) M-2, con una política de Conservación y fragilidad ambiental 3, como se observa en las dos tablas subsecuentes:



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 22.** Asignación de criterios del programa de ordenamiento ecológico territorial de la región denominada corredor Cancún Tulum.

UGA M-2				
Política/Fragilidad Ambiental	Uso Predominante	Usos Compatibles	Usos Condicionados	Usos Incompatibles
Conservación 3 Litoral Costero	Actividades Marina	—	Flora y Fauna, Infraestructura, Pesca, Turismo	Acuacultura



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 23.** Criterios ecológicos de la UGA M-2 y su vinculación jurídica del proyecto.

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
Construcción (C) 6	Durante las obras de canalización y dragado, se utilizarán mallas geotextiles y otras tecnologías que eviten la suspensión y dispersión de sedimentos.	El proyecto no considera ningún tipo de obras de canalización ni dragado. No obstante, se contemplan acciones para evitar cualquier dispersión de sedimentos, tanto para la colocación de los AA, andadores de madera y el retiro de los espigones, como es el caso de la colocación de mallas geotextiles, así como el monitoreo de la turbidez del agua marina, acciones establecidas en el Subprograma de Acciones Independientes.
Equipamiento e Infraestructura (EI) 30	La instalación de marinas está sujeta a la autorización de impacto ambiental.	No aplica para el proyecto.
EI 31	La instalación de marinas deberá garantizar el mantenimiento de los procesos de transporte litoral y la calidad del agua marina.	No aplica para el proyecto.
EI 32	La instalación de marinas estará supeditada a los estudios batimétricos, topográficos, de mecánica de suelos y geohidrológicos.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
El 33	La construcción de los muelles estará sujeta a estudios geohidrológicos especiales y apego a normas internacionales.	No aplica para el proyecto, no obstante, el proyecto se realizó con base en estudios específicos en la materia como lo es el de dinámica costera y el de caracterización de la flora y fauna marina.
El 34	La construcción de muelles permanentes deberá garantizar el mantenimiento de los procesos de transporte litoral y la calidad del agua marina.	No aplica para el proyecto. No obstante, se garantiza el mantenimiento de procesos de transporte y la calidad del agua marina, ya que la sustitución de los espigones garantiza el flujo del agua marina, así como los procesos de transporte, coadyuvando a mejorar la calidad del agua marina.
El 50	En las obras de infraestructura sobre áreas marinas o cuerpos de agua, se prohíbe el uso de aceite quemado y de otras sustancias tóxicas en el tratamiento de la madera.	El proyecto no contempla, para su realización, ningún tipo de sustancia aceitosa o tóxica, que pueda afectar el ecosistema marino.
Flora y Fauna (FF) 3	Se prohíbe la captura de mamíferos marinos.	No aplica para el proyecto.
FF 22	Se prohíbe la introducción de especies de flora y fauna exóticas invasivas.	No aplica para el proyecto.
FF 25	Se prohíbe la alteración y remoción de pastos del fondo marino.	El proyecto no llevará a cabo la alteración o remoción de pastos del fondo marino, es importante señalar que los pastos ya presentan alteraciones por la presencia de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
		<p>los grandes arribazones de sargazo. Cabe mencionar que los AA fueron reubicados dos veces antes de la ubicación final que se presenta en esta MIA-R como la mejor alternativa, pues en las dos propuestas iniciales se presentaban grandes extensiones de pastizales marinos que podían ser dañados. Ante esto, y como muestra del compromiso ambiental que el promovente posee, y para dar cumplimiento a este criterio, se acordó que la mejor alternativa de localización para evitar la afectación a los pastizales y para que los AA puedan funcionar de manera correcta, con base en el estudio técnico de ingeniería, es la que se presenta en este manifiesto. La zona en la que se pretenden instalar los AA, no se presentan pastos marinos, cercanos a las áreas propuestas para la instalación de los AA se presenta sólo algunos pequeños manchones de pastos marinos (aproximadamente de 1 m) ubicados entre las oquedades de la laja</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
		<p>donde se ha llegado acumular sedimento sin cubrir grandes extensiones que es una de las características principales de los pastos marinos (Phillips 1992). Es importante señalar, que todos los pastos observados, están fuertemente alterados, lo anterior por el arribo masivo de sargazo, presentando hojas café y con epífitas, por el incremento de materia orgánica que genera la presencia de esta alga. Es así que no se causarán alteraciones a los pastos marinos pues éstos muestran signos de alteración y daño previo por el arribo de sargazo, sin causar ningún daño o pérdida a las praderas de pastizales mixtos detectados en el SAR.</p> <p>Se reitera dentro del presente manifiesto, el interés pleno de proteger a la flora y fauna que se pudiera verse afectada por la realización del proyecto, tal y como lo describe en el Programa de Manejo Ambiental.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
FF 26	Se prohíbe el uso de explosivos, dragados y construcciones cercanas a arrecifes y manglares.	Las obras de colocación de los AA y la sustitución de los espigones por los andadores de madera y el retiro de los espigones, no contempla el uso de explosivos, dragado y construcciones cercanas a arrecifes y manglares.
FF 27	La ubicación y construcción de puntos de anclaje estará sujeta a estudios específicos.	Para la colocación de los andadores de madera, se realizará el anclaje y nivelación de los postes con madera dura de la región de tipo zapote o similar. Los postes tendrán un diámetro de 20 a 28 cm y una altura variable de entre 4.50 y 6.00 m de longitud. Este anclaje se realizará mediante una excavación realizada con un demoledor manual neumático marca Bosch. Dicho demoledor será conectado a un compresor sullair modelo 375 de 125 psi de capacidad, operado por personal capacitado, el cual no requiere equipo especial, ya que la profundidad máxima de la columna de agua en el área de perforación, será de 90 cm; de tal forma, que el operador podrá

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
		estar todo el tiempo apoyado en el fondo marino.
FF 28	No se permitirá el anclaje de embarcaciones en un radio menor de 35 m inmediatos al arrecife.	No aplica para el proyecto, debido a que el proyecto se localiza fuera del arrecife.
FF 29	El anclaje de embarcaciones solo se permitirá en zonas de arenales y ceibadales.	No aplica para el proyecto.
FF 30	No se permitirá la recolección, remoción o trasplante de organismos vivos, muertos o materiales naturales, ni arrojar ningún tipo de desperdicios en los arrecifes.	El proyecto no implica la recolección, remoción o trasplante de organismos vivos, muertos o materiales naturales, ni arrojar ningún tipo de desperdicio en los arrecifes. No obstante, en donde se identificó la posible afectación a organismos por la instalación de los AA, se implementará el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, a fin de evitar las afectaciones a las especies que se ubiquen en el sitio del proyecto, el cual se instrumentará con de especialistas que lleven a cabo el rescate de la fauna marina. Lo anterior siempre considerando la normatividad aplicable. De igual forma, para las actividades de instalación de los



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
		andadores de madera y el retiro de los espigones, se colocará una geomalla para el control de sedimentos que pudieran contaminar, misma que será sujeta por un lastre o peso muerto. Recalcando que el rescate y reubicación de la fauna marina, en ninguno de los casos se realizará para la explotación de dichas especies detectadas.
FF 31	Se prohíbe la construcción de estructuras promotoras de playa en forma de espigón.	El proyecto no considera ninguna estructura promotora de playa en forma de espigón; los AA que se instalarán para minimizar la erosión que se presenta en la playa serán colocadas de manera paralela a la playa.
FF 34	En zonas donde exista la presencia de especies incluidas en la NOM ECOL-059-1994, deberán realizarse los estudios necesarios para determinar las estrategias que permitan minimizar el impacto negativo sobre las poblaciones de las especies aludidas en esta norma.	Para la elaboración del presente manifiesto, se realizaron diferentes estudios especializados, es así que las medidas establecidas para minimizar los impactos que pudiera generar el proyecto en las especies identificadas listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 las cuales están consideradas en el Programa de Manejo

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
		Ambiental y sus subprogramas priorizando su protección en cada etapa del proyecto.
<b>Manejo de Ecosistemas</b>		
(MAE) 2	Las acciones tendientes a establecer medidas para el control de la erosión en la zona costera estarán sujetas a Manifestación de Impacto Ambiental, la que deberá analizar con detalle las implicaciones que éstas generen en los predios colindantes.	El proyecto, se basa en acciones tendientes al control de la erosión en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, materia del presente manifiesto, mismo que analiza a detalle las implicaciones que se generen por la instalación de los AA y los andadores piloteados de madera, así como cualquier posible alteración en la dinámica costera, ya que los estudios especiales se realizaron con base en la celda litoral a fin de tener un manejo integral de la costa y no afectar predios colindantes al área del proyecto.
MAE 6	Se prohíbe el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos no biodegradables.	No aplica para el proyecto. Sin embargo, como medida preventiva en el Subprograma de Acciones Independientes, se establecen acciones para evitar el vertimiento de cualquier sustancia o residuo, que pudiera producirse por la realización del proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
MAE 56	Se prohíben las actividades recreativas marinas en el periodo de anidación de tortugas desde el ocaso hasta el amanecer.	No aplica para el proyecto, ya que éste no considera actividades recreativas marinas; no obstante, el proyecto dentro del Programa de Manejo Ambiental, contempla la protección de especies que se encuentran en el sitio. Asimismo, no se realizarán actividades entre el ocaso y el amanecer a fin de no perturbar las actividades de anidación de tortugas marinas, estas acciones estarán consideradas en el Subprograma de Acciones Independientes y serán incluidas, de ser el caso, en el Programa de Tortugas Marinas que actualmente implementa el hotel al cual se asocia el presente proyecto.
Turismo (TU) 6	La visita a las áreas arrecifales deberá estar sujeto a estudios específicos.	No aplica para el proyecto.
TU 7	Se prohíbe la utilización de embarcaciones motorizadas en caletas y cenotes costeros.	No aplica para el proyecto. Las obras del proyecto no se ubican en caletas ni cenotes costeros.
TU 8	Las actividades náuticas deberán contar con un reglamento que minimice impactos ambientales.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
TU 9	No se permite el acuatizaje de hidroaviones.	No aplica para el proyecto.
TU 19	No se permitirá la práctica de ningún tipo de deporte acuático motorizado a menos de 100 metros de distancia de las formaciones coralinas.	No aplica para el proyecto.
TU 20	No se permitirá el uso de plataformas o embarcaciones para fines de buceo y esnorqueleo masivos.	No aplica para el proyecto.
TU 22	En el desarrollo de los proyectos Turísticos, se deberán mantener los ecosistemas excepcionales tales como formaciones arrecifales, selvas subperennifolias, manglares, cenotes y caletas, entre otros; así como las poblaciones de flora y fauna incluidos en la NOM 059.	El proyecto no se concibe como un proyecto turístico <i>per se</i> , sin embargo, cabe señalar que no se pretende desarrollar en ecosistemas excepcionales como formaciones arrecifales, o cualquiera de los ecosistemas señalados. El presente manifiesto contempla la presencia de especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como son los gorgonáceos y en las playas adyacentes al SAR, la presencia de tortugas marinas, por lo que a través del Programa de Manejo Ambiental y sus subprogramas se dará protección a las especies con alguna categoría de riesgo.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
TU 25	La práctica de cualquier tipo de deporte acuático motorizado, deberá contar con las autorizaciones correspondientes y garantizar la seguridad de los bañistas. Estableciendo las zonas de entradas y salidas de embarcaciones (entradas y rutas).	No aplica para el proyecto.
TU 28	Solo se permite la utilización de lagunas costeras y arrecifales para el aterrizaje de hidroaviones, con fines de inspección, vigilancia, investigación y emergencias.	No aplica para el proyecto.
TU 29	Se prohíbe tocar, pararse, dañar, alterar, asirse, sujetarse o recargarse de las formaciones arrecifales.	Las obras contempladas en el proyecto, no están en la cercanía de formaciones arrecifales, que pudieran afectarlas.
TU 30	En el buceo libre, autónomo y la natación se prohíbe el uso de guantes y cuchillo.	Para el desarrollo del proyecto, se contará con buzos profesionales y equipo especializado de buceo, para el seguimiento de la adecuada instalación de los AA y de los andadores. Mismos que no contemplan la utilización de los utensilios mencionados en el presente Criterio Ecológico.
TU 33	En los canales de acceso a las lagunas arrecifales no se permiten ningún tipo de	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
	actividades recreativas, culturales, de esparcimiento, de superficie o subacuáticas diurnas o nocturnas.	
TU 34	Los prestadores de servicios turísticos o comerciales y los instructores o guías, deberán proporcionar a los usuarios las condiciones de seguridad necesarias para realizar las actividades para las cuales contraten sus servicios, de acuerdo a la legislación aplicable en la materia.	No aplica para el proyecto.
TU 36	Deberán señalizarse los canales de acceso a las lagunas arrecifales.	No aplica para el proyecto.
TU 37	Queda prohibido realizar el mantenimiento, limpieza, reparación de embarcaciones, abastecimiento de combustible y achicamiento de las sentinas, con excepción de casos de emergencia en la que se exponga la seguridad de vidas humanas.	Se contempla la utilización de embarcaciones menores, solo en caso necesario del reacomodo de las piezas que conforman el AA, mismas que tendrán un adecuado control para evitar cualquier derrame de sustancias que puedan generar contaminación, en el sitio del proyecto. Lo anterior se encuentra dentro de las acciones preventivas del Subprograma de Acciones Independientes.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Criterio		Vinculación jurídica con el proyecto
TU 38	Queda prohibida la navegación de embarcaciones de motor de 1.5 o más metros de calado en las lagunas arrecifales.	No aplica para el proyecto.
TU 40	Se prohíbe dar alimento a la Fauna silvestre.	Dentro del Subprograma de Acciones Independientes, se contempla el instruir al personal, que se ocupará para la realización del proyecto a evitar acciones, que puedan alterar la fauna y flora silvestre del sitio.
TU 41	Se prohíbe el uso de motores de dos tiempos en actividades turísticas marítimas.	No aplica para el proyecto.
TU 42	Se prohíbe el uso de plataformas marinas, o artefactos que funcionen como tales.	No aplica para el proyecto.
Actividades Pesqueras (APS) 1	Las embarcaciones utilizadas para la pesca comercial deberán portar los colores y claves distintivas asignadas por la SEMARNAT, así como el permiso de pesca correspondiente.	No aplica para el proyecto.
APS 2	Queda prohibido el uso de químicos o aparato electrónicos y mecánicos para la captura de animales marinos de ornato.	No aplica para el proyecto.

### III.3.1.4 Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo

Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo (POELMBJ)<sup>32</sup>, es el instrumento de planeación el cual contempla la identificación de UGAs, con sus lineamientos y estrategias ecológicas.

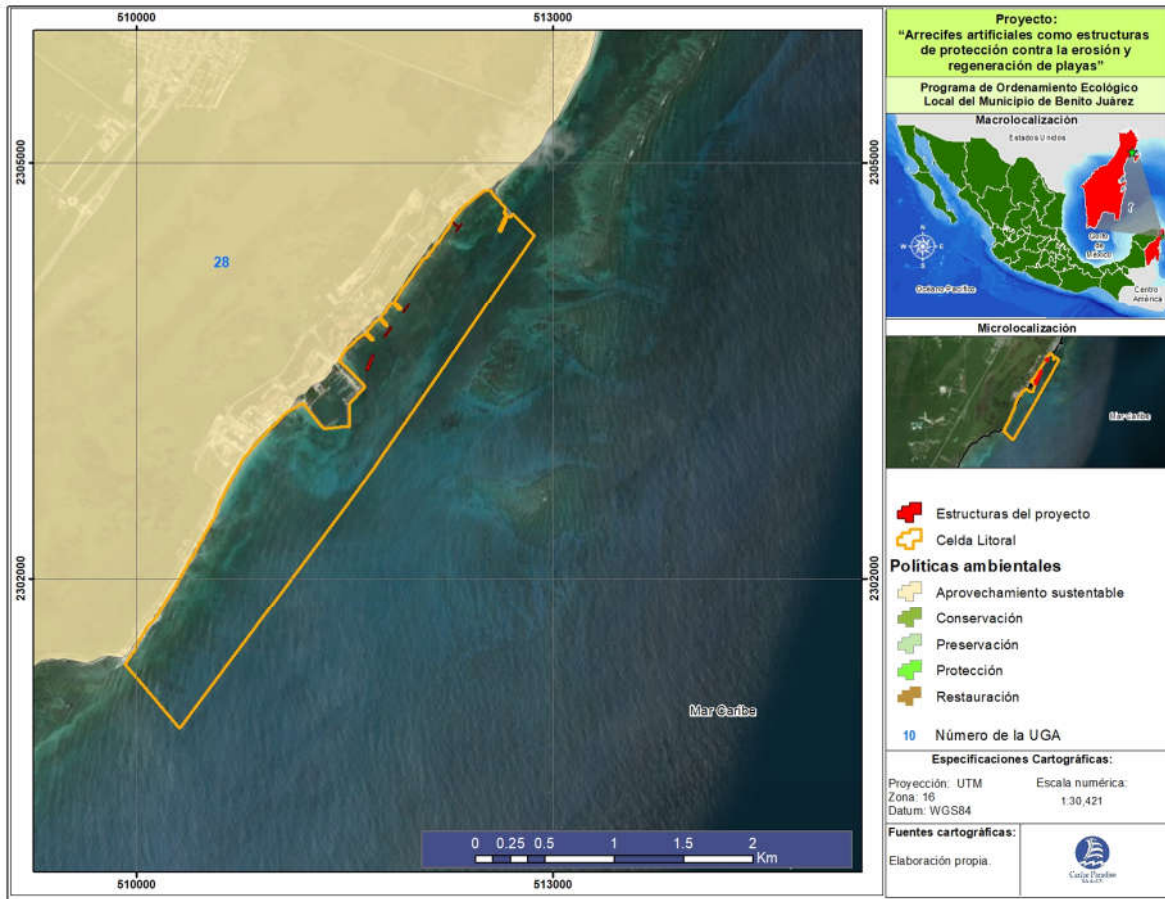
El POELMBJ, contiene Políticas Ambientales de preservación, protección, conservación, restauración y aprovechamiento sustentable.

Es importante señalar que aun cuando el proyecto se localiza frente al municipio de Puerto Morelos, este al ser de nueva creación, y tal y como se indica en el decreto correspondiente, hasta que dicho municipio no cuente con su propio Programa de Ordenamiento Ecológico, seguirá vigente el POEL del Municipio de Benito Juárez, así las cosas, es que a continuación se presenta la vinculación del instrumento con aquellas acciones o actividades terrestres inherentes.

---

<sup>32</sup> Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, México, Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 27 de febrero de 2014.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 4.** Ubicación del proyecto dentro del plano del POELMBJ.

Conforme a la figura anterior, se muestra que la ubicación del sitio del proyecto se localiza dentro de la UGA No. 28, denominada Centro de población de Puerto Morelos, con una Política Ambiental de Aprovechamiento sustentable, con una superficie de 5,740.85 hectáreas, con las siguientes características:

**Tabla 24.** Características de la UGA 28 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo.

Objetivo de la UGA	Regular el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en las zonas de reserva para el crecimiento urbano, dentro de los límites del centro de población, con el fin de mantener los ecosistemas relevantes y en el mejor estado posible, así como los
--------------------	--

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

	bienes y servicios ambientales que provee la zona, previo al desarrollo urbano futuro.
Problemática General	Presión sobre los recursos naturales y riesgo de contaminación al acuífero por el incremento de asentamientos irregulares; Incremento en la incidencia y recurrencia de Incendios Forestales; Carencia de servicios de recolección y disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos; Incompatibilidad entre instrumentos de planeación urbana y ambiental; Necesidades de infraestructura en zonas urbanas del municipio; Cambios de Uso de Suelo no autorizados.
Lineamientos Ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se contiene el crecimiento urbano dentro de los límites del centro de población, propiciando una ocupación compacta y eficiente del suelo urbano de tal manera que las reservas de crecimiento se ocupen hasta obtener niveles de saturación mayores al 70% de acuerdo a los plazos establecidos en el programa de desarrollo urbano de la ciudad de Puerto Morelos, para disminuir los procesos de deterioro de los recursos naturales.</li> <li>• Las autoridades competentes deben propiciar que el crecimiento urbano sea ordenado y compacto y estableciendo al menos 12 m<sup>2</sup> de áreas verdes accesibles por habitante, acorde a la normatividad vigente en la materia.</li> <li>• Las autoridades competentes deben propiciar el tratamiento del 100 % de las aguas residuales domésticas, así como la gestión integral de la totalidad de los residuos sólidos generados en esta localidad.</li> <li>• Todos los centros de población deberán considerar un sitio de disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la modalidad de Parques de Tecnologías, adecuados para su capacidad futura de generación, en proyecciones de al menos 15 años. Los centros de población con menos de 50,000 habitantes que carezcan de relleno sanitario deberán considerar dentro de su PDU, la presencia de al menos un sitio de disposición temporal de los RSU, o terminal de transferencia.</li> </ul>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se mantiene como áreas de conservación el 100% de los manglares que se encuentran dentro del PDU de Puerto Morelos, de acuerdo con la normatividad vigente.</li> </ul>
Recursos y Procesos Prioritarios	Suelo, Manglares, Vaso regulador de flujos, Biodiversidad.

De conformidad con el POELMBJ, son aplicables dos tipos de Criterios de Regulación Ecológica, entendidos como aquellos lineamientos obligatorios para orientar las acciones de preservación y restauración del equilibrio ecológico, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la protección al ambiente, basados en el principio de aprovechamiento sustentable, por lo que se refiere a la UGA No. 28 le son aplicables los criterios de aplicación general, tal como se describen en las dos tablas siguientes los criterios de aplicación específica, así como su vinculación jurídica con el proyecto:

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 25.** Criterios ecológicos de aplicación general de la UGA 28 y su vinculación jurídica del proyecto.

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-01	En el tratamiento de plagas y enfermedades de plantas en cultivos, jardines, áreas de reforestación y de manejo de la vegetación nativa deben emplearse productos que afecten específicamente la plaga o enfermedad que se desea controlar, así como los fertilizantes que sean preferentemente orgánicos y que estén publicados en el catálogo vigente por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Substancias Tóxicas (CICOPLAFEST).	No aplica para el proyecto.
CG-02	Los proyectos que en cualquier etapa empleen agroquímicos de manera rutinaria e intensiva, deberán elaborar un programa de monitoreo de la calidad del agua del subsuelo a fin de detectar, prevenir y, en su caso, corregir la contaminación del recurso. Los resultados del Monitoreo se incorporarán a la bitácora ambiental.	No aplica para el proyecto.
CG-03	Con la finalidad de restaurar la cobertura vegetal que favorece la captación de agua y la conservación de los suelos, la superficie del predio sin vegetación que no haya sido autorizada para su aprovechamiento, debe ser reforestada con	No aplica para el proyecto, ya que no se realizará cambio de uso de suelo en terrenos forestales.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
	especies nativas propias del hábitat que haya sido afectado.	
CG-04	En los nuevos proyectos de desarrollo urbano, agropecuario, suburbano, turístico e industrial se deberá separar el drenaje pluvial del drenaje sanitario. El drenaje pluvial de techos, previo al paso a través de un decantador para separar sólidos no disueltos, podrá ser empleado para la captación en cisternas, dispuesto en áreas con jardines o en las áreas con vegetación nativa remanente de cada proyecto. El drenaje pluvial de estacionamientos públicos y privados, así como de talleres mecánicos deberá contar con sistemas de retención de grasas y aceites.	No aplica para el proyecto.
CG-05	Para permitir la adecuada recarga del acuífero, todos los proyectos deben acatar lo dispuesto en el artículo 132 de la LEEPAQROO o la disposición jurídica que la sustituya.	No aplica para el proyecto.
CG-06	Con la finalidad de evitar la fragmentación de los ecosistemas y el aislamiento de las poblaciones, se deberán agrupar las áreas de aprovechamiento preferentemente en áreas “sin vegetación aparente” y mantener la continuidad de las áreas con vegetación natural. Para lo cual, el promovente	No aplica para el proyecto. Cabe señalar que las estructuras a colocar para conformar los AA, así como el material proveniente del desmantelamiento de los espigones, serán colocados de manera temporal en

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
	deberá presentar un estudio de zonificación ambiental que demuestre la mejor ubicación de la infraestructura planteada por el proyecto, utilizando preferentemente las áreas perturbadas por usos previos o con vegetación secundaria o acahual.	áreas actualmente desprovistas de vegetación, por lo tanto, no existirá fragmentación, ni aislamiento de las poblaciones con vegetación natural.
CG-07	En los proyectos en donde se pretenda llevar a cabo la construcción de caminos, bardas o cualquier otro tipo de construcción que pudiera interrumpir la conectividad ecosistémica deberán implementar pasos de fauna menor (pasos inferiores) a cada 50 metros, con excepción de áreas urbanas.	No aplica para el proyecto.
CG-08	Los humedales, rejolladas inundables, petenes, cenotes, cuerpos de agua superficiales, presentes en los predios deberán ser incorporados a las áreas de conservación.	No aplica para el proyecto.
CG-09	Salvo en las UGA urbanas, los desarrollos deberán ocupar el porcentaje de aprovechamiento o desmonte correspondiente para la UGA en la que se encuentre, y ubicarse en la parte central del predio, en forma perpendicular a la carretera principal. Las áreas que no sean intervenidas no podrán ser cercadas o bardeadas y deberán ubicarse preferentemente a lo largo del perímetro del predio	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
	en condiciones naturales y no podrán ser desarrolladas en futuras ampliaciones.	
CG-010	Sólo se permite la apertura de nuevos caminos de acceso para actividades relacionadas a los usos compatibles, así como aquellos relacionados con el establecimiento de redes de distribución de servicios básicos necesarios para la población.	No aplica para el proyecto.
CG-011	El porcentaje de desmonte que se autorice en cada predio, deberá estar acorde a cada uso compatible y no deberá exceder el porcentaje establecido en el lineamiento ecológico de la UGA, aplicando el principio de equidad y proporcionalidad.	No aplica para el proyecto.
CG-012	En el caso de desarrollarse varios usos de suelo compatibles en el mismo predio, los porcentajes de desmonte asignados a cada uno de ellos solo serán acumulables hasta alcanzar el porcentaje definido en el lineamiento ecológico.	No aplica para el proyecto.
CG-013	En la superficie de aprovechamiento autorizada previo al desarrollo de cualquier obra o actividad, se deberá de ejecutar un programa de rescate de flora y fauna.	No aplica para el proyecto, ya que no se realizará ningún aprovechamiento. No obstante, es importante indicar que el proyecto para su realización se contempla ejecutar el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-014	En los predios donde no exista cobertura arbórea, o en el caso que exista una superficie mayor desmontada a la señalada para la unidad de gestión ambiental ya sea por causas naturales y/o usos previos, el proyecto sólo podrá ocupar la superficie máxima de aprovechamiento que se indica para la unidad de gestión ambiental y la actividad compatible que pretenda desarrollarse.	No aplica para el proyecto.
CG-015	En los ecosistemas forestales deberán eliminarse los ejemplares de especies exóticas considerados como invasoras por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) que representen un riesgo de afectación o desplazamiento de especies silvestres. El material vegetal deberá ser eliminado mediante procedimientos que no permitan su regeneración y/o propagación.	No aplica para el proyecto.
CG-016	La introducción y manejo de palma de coco ( <i>Cocus nucifera</i> ) debe restringirse a las variedades que sean resistentes a la enfermedad conocida como “amarillamiento letal del cocotero”.	No aplica para el proyecto.
CG-017	Se permite el manejo de especies exóticas, cuando: 1. La especie no esté catalogada como especie invasora por la Comisión Nacional para el	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
	<p>Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y/o La SAGARPA.</p> <p>2. La actividad no se proyecte en cuerpos naturales de agua,</p> <p>3. El manejo de fauna, en caso de utilizar encierros, se debe realizar el tratamiento secundario por medio de biodigestores autorizados por la autoridad competente en la materia de aquellas aguas provenientes de la limpieza de los sitios de confinamiento.</p> <p>4. Se garantice el confinamiento de los ejemplares y se impida su dispersión o distribución al medio natural.</p> <p>5. Deberán estar dentro de una Unidad de Manejo Ambiental o PIMVS.</p>	
CG-018	No se permite la acuicultura en cuerpos de agua en condiciones naturales, ni en cuerpos de agua artificiales con riesgo de afectación a especies nativas.	No aplica para el proyecto.
CG-019	Todos los caminos abiertos que estén en propiedad privada, deberán contar con acceso controlado, a fin de evitar posibles afectaciones a los recursos naturales existentes.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-020	Los cenotes, rejolladas inundables y cuerpos de agua deberán mantener inalterada su estructura geológica y mantener el estrato arbóreo, asegurando que la superficie establecida para su uso garantice el mantenimiento de las condiciones ecológicas de dichos ecosistemas.	No aplica para el proyecto.
CG-021	Donde se encuentren vestigios arqueológicos, deberá reportarse dicha presencia al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y contar con su correspondiente autorización para la construcción de la obra o realización de actividades.	No aplica para el proyecto.
CG-022	El derecho de vía de los tendidos de energía eléctrica de alta tensión sólo podrá ser utilizado conforme a la normatividad aplicable, y en apego a ella no podrá ser utilizado para asentamientos humanos.	No aplica para el proyecto.
CG-023	La instalación de infraestructura de conducción de energía eléctrica de baja tensión y de comunicación deberá ser subterránea en el interior de los predios, para evitar la contaminación visual del paisaje y afectaciones a la misma por eventos meteorológicos extremos y para minimizar la fragmentación de ecosistemas.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-024	Los taludes de los caminos y carreteras deberán ser reforestados con plantas nativas de cobertura y herbáceas que limiten los procesos de erosión.	No aplica para el proyecto.
CG-025	En ningún caso la estructura o cimentación de las construcciones deberá interrumpir la hidrodinámica natural superficial y/o subterránea.	El proyecto contempla la colocación de arrecifes artificiales y de andadores de madera, así como el retiro de tres espigones, con objeto de evitar la erosión de la playa, a fin de que se restablezca su estado original, a su vez, ello contribuirá a la preservación del perfil de la costa, manteniendo la hidrodinámica marina natural; además, mediante la implementación del Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero, podrán detectarse cambios no deseados o esperados en la playa por efecto de alguna actuación o intervención en las inmediaciones de la frontera tierra-mar.
CG-026	De acuerdo a lo que establece el Reglamento Municipal de Construcción, los campamentos de construcción o de apoyo y todas las obras en general deben:	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
	<p>A. Contar con al menos una letrina por cada 20 trabajadores.</p> <p>B. Áreas específicas y delimitadas para la pernocta y/o para la elaboración y consumo de alimentos, con condiciones higiénicas adecuadas (ventilación, miriñaques, piso de cemento, correcta iluminación, lavamanos, entre otros).</p> <p>C. Establecer las medidas necesarias para almacenamiento, retiro, transporte y disposición final de los residuos sólidos generados.</p> <p>D. Establecer medidas para el correcto manejo, almacenamiento, retiro, transporte y disposición final de los residuos peligrosos.</p>	
CG-027	<p>En el diseño y construcción de los sitios de disposición final de Residuos Sólidos Urbanos se deberán colocar en las celdas para residuos y en el estanque de lixiviados, una geomembrana de polietileno de alta densidad o similar, con espesor mínimo de 1.5 mm. Previo a la colocación de la capa protectora de la geomembrana se deberá acreditar la aprobación de las pruebas de hermeticidad de las uniones de la geomembrana por parte de la autoridad que supervise su construcción.</p>	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-028	La disposición de materiales derivados de obras, excavaciones o dragados sólo podrá realizarse en sitios autorizados por la autoridad competente, siempre y cuando no contengan residuos sólidos urbanos, así como aquellos que puedan ser catalogados como peligrosos por la normatividad vigente.	No aplica para el proyecto. Sin embargo, se indica que todo el material obtenido del desmantelamiento de las escolleras o de cualquier otro residuo de este tipo, será dispuesto en sitios autorizados.
CG-029	La disposición final de residuos sólidos únicamente podrá realizarse en los sitios previamente aprobados para tal fin.	Durante el desarrollo del proyecto, se llevarán a cabo acciones para el manejo de residuos, además de considerar que el hotel al cual se encuentra asociado el proyecto actualmente implementa un Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos, Q. Roo (Anexo V.2), indicándose que la disposición final de residuos sólidos únicamente podrá realizarse en los sitios previamente aprobados para tal fin.
CG-030	Los desechos biológico infecciosos no podrán disponerse en el relleno sanitario y/o en depósitos temporales de servicio municipal.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-031	Los sitios de disposición final de RSU deberán contar con un banco de material pétreo autorizado dentro del área proyectada, mismo que se deberá ubicar aguas arriba de las celdas de almacenamiento y que deberá proveer diariamente del material de cobertura.	No aplica para el proyecto.
CG-032	Se prohíbe la quema de basura, así como su entierro o disposición a cielo abierto.	El proyecto prohíbe la quema de basura, así como su entierro o disposición a cielo abierto.
CG-033	Todos los proyectos deberán contar con áreas específicas para el acopio temporal de los residuos sólidos. En el caso de utilizar el servicio municipal de colecta, dichas áreas deben ser accesibles a la operación del servicio.	Durante el desarrollo del proyecto, se llevarán a cabo acciones para el manejo de residuos, además de considerar que el hotel al cual se encuentra asociado el proyecto, actualmente implementa un Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos, Q. Roo (Anexo V.2).
CG-034	El material pétreo, sascab, piedra caliza, tierra negra, tierra de despalme, madera, materiales vegetales y/o arena, que se utilice en la construcción de un proyecto, deberá provenir de fuentes y/o bancos de material autorizados.	Todo el material utilizado en el proyecto, provendrá de fuentes y/o bancos de materiales autorizados.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-035	En la superficie en la que por excepción la autoridad competente autorice la remoción de la vegetación, también se podrá retirar el suelo, subsuelo y las rocas para nivelar el terreno e instalar los cimientos de las edificaciones e infraestructura, siempre y cuando no se afecten los ríos subterráneos que pudieran estar presentes en los predios que serán intervenidos.	No aplica para el proyecto.
CG-036	Los desechos orgánicos derivados de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales deberán aprovecharse en primera instancia para la recuperación de suelos, y/o fertilización orgánica de cultivos y áreas verdes, previo composteo y estabilización y ser dispuestos donde lo indique la autoridad competente en la materia.	No aplica para el proyecto.
CG-037	Todos los proyectos que impliquen la remoción de la vegetación y el despalme del suelo deberán realizar acciones para la recuperación de la tierra vegetal, realizando su separación de los residuos vegetales y pétreos, con la finalidad de que sea utilizada para acciones de reforestación dentro del mismo proyecto o donde lo disponga la autoridad competente en la materia, dentro del territorio municipal.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio General	Vinculación con el proyecto
CG-038	No se permite la transferencia de densidades de cuartos de hotel, residencias campestres, cabañas rurales y/o cabañas ecoturísticas de una unidad de gestión ambiental a otra.	No aplica para el proyecto.
CG-039	El porcentaje de desmonte permitido en cada UGA que impliquen el cambio de uso de suelo de la vegetación forestal, solo podrá realizarse cuando la autoridad competente expida por excepción las autorizaciones de cambio de uso de suelo de los terrenos forestales.	No aplica para el proyecto.

**Tabla 26.** Criterios ecológicos de aplicación específica de la UGA 28 y su vinculación jurídica del proyecto.

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
Agua		
URB-01	En tanto no existan sistemas municipales para la conducción y tratamiento de las aguas residuales municipales, los promoventes de nuevos proyectos, de hoteles, fraccionamientos, condominios, industrias y similares, deberán instalar y operar por su propia cuenta, sistemas de tratamiento y reciclaje de las aguas residuales, ya sean individuales o comunales, para satisfacer las condiciones particulares que	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	determinen las autoridades competentes y las normas oficiales mexicanas aplicables en la materia.	
URB-02	A fin de evitar la contaminación ambiental y/o riesgos a la salud pública y sólo en aquellos casos excepcionales en que el tendido de redes hidrosanitarias no exista, así como las condiciones financieras, socioeconómicas y/o topográficas necesarias para la introducción del servicio lo ameriten y justifiquen, la autoridad competente en la materia podrá autorizar a persona físicas el empleo de biodigestores para que en sus domicilios particulares se realice de manera permanente un tratamiento de aguas negras domiciliarias. Estos sistemas deberán estar aprobados por la autoridad ambiental competente.	No aplica para el proyecto.
URB-03	En zonas que ya cuenten con el servicio de drenaje sanitario el usuario estará obligado a conectarse a dicho servicio. En caso de que a partir de un dictamen técnico del organismo operador resulte no ser factible tal conexión, se podrán utilizar sistemas de tratamiento debidamente certificados y contar con la autorización para las descargas por la CONAGUA.	No aplica para el proyecto.
URB-04	Los sistemas de producción agrícola intensiva (invernaderos, hidroponía y viveros) que se	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	establezcan dentro de los centros de población deben reducir la pérdida del agua de riego, limitar la aplicación de agroquímicos y evitar la contaminación de los mantos freáticos.	
URB-07	No se permite la disposición de aguas residuales sin previo tratamiento hacia los cuerpos de agua, zonas inundables y/o al suelo y subsuelo, por lo que se promoverá que se establezca un sistema integral de drenaje y tratamiento de aguas residuales.	No aplica para el proyecto.
URB-08	En las zonas urbanas y sus reservas del Municipio de Benito Juárez se deberán establecer espacios jardinados que incorporen elementos arbóreos y arbustivos de especies nativas.	No aplica para el proyecto.
URB-09	Para mitigar el aumento de la temperatura y la sensación térmica en las zonas urbanas, mejorar el paisaje, proteger las zonas de infiltración de aguas y recarga de mantos acuíferos, dotar espacios para recreación y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos en general, deben existir parques y espacios recreativos que cuenten con elementos arbóreos y arbustivos y cuya separación no será mayor a un km entre dichos parques.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-10	Los cenotes, rejolladas inundables y cuerpos de agua presentes en los centros de población deben formar parte de las áreas verdes, asegurando que la superficie establecida para tal destino del suelo garantice el mantenimiento de las condiciones ecológicas de dichos ecosistemas.	No aplica para el proyecto.
URB-11	Para el ahorro del recurso agua, las nuevas construcciones deberán implementar tecnologías que aseguren el ahorro y uso eficiente del agua.	No aplica para el proyecto.
URB-12	En las plantas de tratamiento de aguas residuales y de desactivación de lodos deberán implementarse procesos para la disminución de olores y establecer franjas de vegetación arbórea de al menos 15 m de ancho que presten el servicio de barreras dispersantes de malos olores dentro del predio que se encuentren dichas instalaciones.	No aplica para el proyecto.
URB-13	La canalización del drenaje pluvial hacia espacios verdes, cuerpos de agua superficiales o pozos de absorción, debe realizarse previa filtración de sus aguas con sistemas de decantación, trampas de grasas y sólidos, u otros que garanticen la retención de sedimentos y contaminantes. Dicha canalización deberá ser autorizada por la Comisión Nacional del Agua.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-14	Los crematorios deberán realizar un monitoreo y control de sus emisiones a la atmósfera.	No aplica para el proyecto.
URB-15	Los cementerios deberán impermeabilizar paredes y piso de las fosas, con el fin de evitar contaminación al suelo, subsuelo y manto freático.	No aplica para el proyecto.
URB-16	Los proyectos en la franja costera dentro de las UGA urbanas deberán tomar en cuenta la existencia de las bocas de tormenta que de manera temporal desaguan las zonas sujetas a inundación durante la ocurrencia de lluvias extraordinarias o eventos ciclónicos. Por ser tales sitios zonas de riesgo, en los espacios públicos y privados se deben de realizar obras de ingeniería permanentes que en una franja que no será menor de 20 m conduzcan y permitan el libre flujo que de manera natural se establezca para el desagüe.	No aplica para el proyecto.
URB-17	Serán susceptible de aprovechamiento los recursos biológicos forestales, tales como semilla, que generen los arboles urbanos, con fines de propagación por parte de particulares, mediante la autorización de colecta de recursos biológicos forestales.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-18	Adicional a los sitios de disposición final autorizados de RSU, se debe contar con un área de acopio y retención de Residuos Especiales, en caso de contingencia, a fin de evitar que se introduzcan en la(s) celda(s).	No aplica para el proyecto.
Suelo y Subsuelo		
URB-19	La autorización emitida por la autoridad competente para la explotación de bancos de materiales pétreos deberá sustentarse en los resultados provenientes de estudios de mecánica de suelos y geohidrológicos que aseguren que no existan afectaciones irreversibles al recurso agua, aun en los casos de afloramiento del acuífero para extracción debajo del manto freático. Estos estudios deberán establecer claramente cuáles serán las medidas de mitigación aplicables al proyecto y los parámetros y periodicidad para realizar el monitoreo que tendrá que realizarse durante todas las etapas del proyecto, incluyendo las actividades de la etapa de abandono.	No aplica para el proyecto.
URB-20	Con el objeto de integrar cenotes, rejolladas, cuevas y cavernas a las áreas públicas urbanas, se permite realizar un aclareo, poda y modificación de vegetación rastrera y arbustiva presente, respetando	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	en todo momento los elementos arbóreos y vegetación de relevancia ecológica, así como la estructura geológica de estas formaciones.	
URB-21	Los bancos de materiales autorizados deben respetar una zona de amortiguamiento que consiste en una barrera vegetal alrededor del mismo, conforme lo señala el Decreto 36, del Gobierno del Estado; y/o la disposición jurídica que la sustituya.	No aplica para el proyecto.
URB-22	Para evitar la contaminación del suelo y subsuelo, en las actividades de extracción y exploración de materiales pétreos deberán realizarse acciones de acopio, separación, utilización y disposición final de cualquier tipo de residuos generados, en el marco de lo que establezcan las disposiciones jurídicas aplicables.	No aplica para el proyecto.
URB-23	Para reincorporar las superficies afectadas por extracción de materiales pétreos a las actividades económicas del municipio, deberá realizarse la rehabilitación de dichas superficies en congruencia con los usos que prevean los instrumentos de planeación vigentes para la zona.	No aplica para el proyecto.
URB-24	Los generadores de Residuos de Manejo Especial y los Grandes Generadores de Residuos Sólidos	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	Urbanos deberán contar con un plan de manejo de los mismos, en apego a la normatividad vigente en la materia.	
URB-25	Para el caso de fraccionamientos habitacionales, el fraccionador deberá construir a su cargo y entregar al Ayuntamiento por cada 1000 viviendas previstas en el proyecto de fraccionamiento, parque o parques públicos recreativos con sus correspondientes áreas ajardinadas y arboladas con una superficie mínima de 5,000 metros cuadrados, mismos que podrán ser relacionados a las áreas de donación establecidas en la legislación vigente en la materia. Tratándose de fracciones en el número de viviendas previstas en el fraccionamiento, las obras de equipamiento urbano serán proporcionales, pudiéndose construir incluso en predios distintos al fraccionamiento.	No aplica para el proyecto.
URB-26	En las etapas de crecimiento de la mancha urbana considerada por el PDU, para mitigar el aumento de la temperatura y la sensación térmica en la zonas urbanas, mejorar el paisaje, proteger las zonas de infiltración de aguas y recarga de mantos acuíferos, favorecer la función de barrera contra ruido, dotar espacios para recreación y mejoramiento de la	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	calidad de vida de los ciudadanos en general, los fraccionamientos deben incorporar áreas verdes que contribuyan al Sistema Municipal de Parques, de conformidad con la normatividad vigente en la materia.	
URB-27	La superficie ocupada por equipamiento en las áreas verdes no deberá exceder de un 30% del total de la superficie cada una de ellas.	No aplica para el proyecto.
URB-28	Para evitar las afectaciones por inundaciones, se prohíbe el establecimiento de fraccionamientos habitacionales, así como de infraestructura urbana dentro del espacio excavado de las sascaberas en desuso y en zonas en donde los estudios indiquen que existe el riesgo de inundación (de acuerdo al Atlas de Riesgos del municipio y/o del estado).	No aplica para el proyecto.
URB-29	En la construcción de fraccionamientos dentro de las áreas urbanas, se permite la utilización del material pétreo que se obtenga de los cortes de nivelación dentro del predio. El excedente de los materiales extraídos que no sean utilizados deberá disponerse en la forma indicada por la autoridad competente en la materia.	No aplica para el proyecto.
Flora y Fauna		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-30	En zonas inundables, se deben mantener las condiciones naturales de los ecosistemas y garantizar la conservación de las poblaciones silvestres que la habitan. Por lo que las actividades recreativas de contemplación deben ser promovidas y las actividades de aprovechamiento extractivo y de construcción deben ser condicionadas.	No aplica para el proyecto.
URB-31	Las áreas destinadas a la conservación de la biodiversidad y/o del agua que colinden con las áreas definidas para los asentamientos humanos, deberán ser los sitios prioritarios para ubicar los ejemplares de plantas y animales que sean rescatados en el proceso de eliminación de la vegetación.	No aplica para el proyecto.
URB-32	Deberá preverse un mínimo de 50% de la superficie de los espacios públicos jardinados para que tengan vegetación natural de la zona y mantener todos los árboles nativos que cuenten con DAP mayores de 15 cm, en buen estado fitosanitario y que no representen riesgo de accidentes para los usuarios.	No aplica para el proyecto.
URB-33	Deberán establecerse zonas de amortiguamiento de al menos 50 m alrededor de las zonas industriales y centrales de abastos que se desarrollen en las reservas urbanas. Estas zonas de amortiguamiento	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	deberán ser dotados de infraestructura de parque público.	
URB-34	En los programas de rescate de fauna silvestre que deben elaborarse y ejecutarse con motivo de la eliminación de la cobertura vegetal de un predio, se deberá incluir el sitio de reubicación de los ejemplares, aprobado por la autoridad ambiental competente.	Para la realización del proyecto y con la finalidad de reducir el impacto sobre la biota marina, se propone la implementación de un Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, mismo que pretende identificar los sitios de reubicación de los ejemplares.
URB-35	No se permite introducir o liberar fauna exótica en parques y/o áreas de reservas urbanas.	No aplica para el proyecto.
URB-36	Las áreas con presencia de ecosistemas de manglar dentro de los centros de población deberán ser consideradas como Áreas de Preservación Ecológica para garantizar el mantenimiento de los bienes y servicios ambientales que proveen por lo que no podrán ser modificadas, con el fin de proporcionar una mejor calidad de vida para los habitantes del municipio; con excepción de aquellas que cuenten previamente con un plan de manejo autorizado por la autoridad ambiental competente.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-38	Las áreas verdes de los estacionamientos descubiertos públicos y privados deben ser diseñadas en forma de camellones continuos y deberá colocarse por lo menos un árbol por cada dos cajones de estacionamiento.	No aplica para el proyecto.
URB-40	En las previsiones de crecimiento de las áreas urbanas colindantes con las ANPs, se deberán mantener corredores biológicos que salvaguarden la conectividad entre los ecosistemas existentes.	No aplica para el proyecto.
URB-41	Los proyectos urbanos deberán reforestar camellones y áreas verdes colindantes a las ANPs y parques municipales deberán reforestar con especies nativas que sirvan de refugio y alimentación para la fauna silvestre, destacando el chicozapote ( <i>Manilkara zapota</i> ), la guaya ( <i>Talisia olivaeformis</i> ), capulín ( <i>Muntingia calabura</i> ), <i>Ficus spp</i> , entre otros.	No aplica para el proyecto.
URB-42	Los desarrollos turísticos y/o habitacionales deberán garantizar la permanencia del hábitat y las poblaciones de mono araña <i>Ateles geoffroyi</i> , mediante la regulación de los horarios de uso del sitio, mantenimiento de la disponibilidad natural de alimento y sitios de pernocta y de reproducción, así como con otras acciones que sean necesarias.	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
Paisaje		
URB-43	Las áreas verdes y en las áreas urbanas de conservación, deberán contar con el equipamiento adecuado para evitar la contaminación por residuos sólidos, ruido, aguas residuales y fecalismo al aire libre.	No aplica para el proyecto.
URB-44	Las autorizaciones municipales para el uso de suelo en los predios colindantes a la zona federal marítimo terrestre y las concesiones de zona federal marítimo terrestre otorgadas por la Federación, deberán ser congruentes con los usos de suelo de la zona que expida el Estado o Municipio.	El hotel asociado al proyecto, cuenta con los permisos necesarios para su operación, ante las diferentes autoridades.
URB-45	Para recuperar el paisaje y compensar la pérdida de vegetación en las zonas urbanas, en las actividades de reforestación designadas por la autoridad competente, se usarán de manera prioritaria especies nativas acordes a cada ambiente.	No aplica para el proyecto.
URB-46	El establecimiento de actividades de la industria concretara y similares debe ubicarse a una distancia mínima de 500 metros del asentamiento humano más próximo y debe contar con barreras naturales perimetrales para evitar la dispersión de polvos.	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-47	Se establecerán servidumbres de paso y accesos a la zona federal marítimo terrestre y el libre paso por la zona federal a una distancia máxima de 1000 metros entre estos accesos, de conformidad con la Ley de Bienes Nacionales y el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar.	No aplica para el proyecto.
URB-48	En las áreas de aprovechamiento proyectadas se debe mantener en pie la vegetación arbórea y palmas de la vegetación original que por diseño del proyecto coincidan con las áreas destinadas a camellones, parques, áreas verdes, jardines, áreas de donación o áreas de equipamiento, de tal forma que estos individuos se integren al proyecto.	No aplica para el proyecto.
URB-49	Los proyectos que pretendan realizarse en predios que colinden con playas aptas para la anidación de tortugas marinas deberán incorporar medidas preventivas que minimicen el impacto negativo a estos animales tanto durante la temporada de arribo y anidación de las hembras como durante el período de desarrollo de los huevos y eclosión de las crías.	Como se describe en el Capítulo VI de la presente MIA-R, la playa del Hotel asociado al proyecto, no registra una tasa de anidación de tortugas alta (6.63 nidos por temporada en promedio). No obstante, la promovente cuenta actualmente con un Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo, el cual

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
		<p>incluye acciones de vigilancia, cuidados de nidos, concientización, marcaje, registro y monitoreo de nidos. Además, el promovente incluye medidas preventivas con las cuales no será necesario el traslado de los huevos, por lo que marcarlas con una banderola será suficiente. Finalmente, en el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, como objetivo particular se contempla la implementación, en caso de ser necesario, de medidas de mitigación o compensación, adicionales derivadas de los posibles impactos no previstos, las cuales contemplan a la conservación y protección de la tortuga marinas. A través de este programa, el promovente incorpora medidas preventivas que minimizan el impacto negativo a estos animales tanto durante la temporada de arribo y anidación de las hembras como durante el periodo de desarrollo de los huevos y eclosión de las crías.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-50	Las especies recomendadas para la reforestación de dunas son: plantas rastreras: <i>Ipomea pes-caprae</i> , <i>Sesuvium portulacastrum</i> , herbáceas: <i>Ageratum littorale</i> , <i>Erythalis fruticosa</i> y arbustos: <i>Tournefortia gnaphalodes</i> , <i>Suriana maritima</i> y <i>Coccoloba uvifera</i> y Palmas <i>Thrinax radiata</i> , <i>Coccothrinax readii</i> .	No aplica para el proyecto.
URB-51	La selección de sitios para la rehabilitación de dunas y la creación infraestructura de retención de arena deberá tomar en cuenta los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Que haya evidencia de la existencia de dunas en los últimos 20 años.</li> <li>• Que los vientos prevalecientes soplen en dirección a las dunas.</li> <li>• Que existan zonas de dunas pioneras (embrionarias) en la playa en la que la arena esté constantemente seca, para que constituya la fuente de aportación para la duna.</li> <li>• Las cercas de retención deberán ser biodegradables, con una altura aproximada de 1.2 m y con 50% de porosidad y ubicadas en paralelo a la costa.</li> <li>• Las dunas rehabilitadas deberán ser reforestadas.</li> </ul>	No aplica para el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-52	<p>En las playas de anidación de tortugas marinas se deben realizar las siguientes medidas precautorias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar la remoción de la vegetación nativa y la introducción de especies exóticas en el hábitat de anidación.</li> <li>• Favorecer y propiciar la regeneración natural de la comunidad vegetal nativa y el mantenimiento de la dinámica de acumulación de arena del hábitat de anidación.</li> <li>• Retirar de la playa, durante la temporada de anidación, cualquier objeto movable que tenga la capacidad de atrapar, enredar o impedir el paso de las tortugas anidadoras y sus crías.</li> <li>• Eliminar, reorientar o modificar cualquier instalación o equipo que durante la noche genere una emisión o reflexión de luz hacia la playa de anidación o cause resplandor detrás de la vegetación costera, durante la época de anidación y emergencia de crías de tortuga marina.</li> <li>• Orientar los tipos de iluminación que se instalen cerca de las playas de anidación, de tal forma que su flujo luminoso sea dirigido hacia abajo y fuera de la playa, usando alguna de las siguientes medidas para la mitigación del impacto:</li> </ul>	<p>Como se describe en el Capítulo VI de la presente MIA-R, la playa del Hotel asociado al proyecto, no registra una tasa de anidación de tortugas alta (6.63 nidos por temporada en promedio). No obstante, la promovente cuenta actualmente con un Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo, el cual incluye acciones de vigilancia, cuidados de nidos, concientización, marcaje, registro y monitoreo de nidos. Además, el Programa incluye medidas preventivas para: evitar la remoción de vegetación nativa en el hábitat de anidación; favorecer y propiciar la regeneración natural de la comunidad vegetal nativa y el mantenimiento de la dinámica de acumulación de arena del hábitat de anidación; mantener a la playa libre de objetos que pudieran obstaculizar el paso de las tortugas anidadoras y sus crías; eliminar la iluminación en la playa durante la</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	<p>a) Luminarias direccionales o provistas de mamparas o capuchas.</p> <p>b) Focos de bajo voltaje (40 watts) o lámparas fluorescentes compactas de luminosidad equivalente.</p> <p>c) Fuentes de luz de coloración amarilla o roja, tales como las lámparas de vapor de sodio de baja presión.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar medidas para mantener fuera de la playa de anidación, durante la temporada de anidación, el tránsito vehicular y el de cualquier animal doméstico que pueda perturbar o lastimar a las hembras, nidadas y crías. Sólo pueden circular los vehículos destinados para tareas de monitoreo y los correspondientes para el manejo y protección de las tortugas marinas, sus nidadas y crías.</li> </ul>	<p>época de anidación y emergencia de crías de tortuga marina; prohibir el paso de vehículos (excepto los destinados al monitoreo, manejo y protección de las tortugas marinas, sus nidadas y sus crías) y animales domésticos que pueda perturbar o lastimar a las hembras, nidadas y crías.</p>
URB-53	<p>Las obras y actividades que son susceptibles de ser desarrolladas en las dunas costeras deberán evitar la afectación de zonas de anidación y de agregación de especies, en particular aquellas que formen parte del hábitat de especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.</p>	<p>No aplica para el proyecto. Toda vez que no se realizarán actividades en las dunas costeras o se extraerá arena de playa en dunas o lagunas costeras.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
URB-54	En las dunas no se permite la instalación de tuberías de drenaje pluvial, la extracción de arena, ni ser utilizadas como depósitos de la arena o sedimentos que se extraen de los dragados que se realizan para mantener la profundidad en los canales de puertos, bocas de lagunas o lagunas costeras.	El proyecto no realizará actividades o extracción de arena de playa en dunas costeras.
URB-55	La construcción de infraestructura permanente o temporal debe quedar fuera de las dunas pioneras (embrionarias).	El proyecto no realizará construcciones en dunas costeras.
URB-56	En las dunas primarias podrá haber construcciones de madera o material degradable y piloteadas (e.g., casas tipo palafito o andadores), detrás de la cara posterior del primer cordón y evitando la invasión sobre la corona o cresta de estas dunas. El pilotaje deberá ser superficial (hincado a golpes), no cimentado y deberá permitir el crecimiento de la vegetación, el transporte de sedimentos y el paso de fauna, por lo que se recomienda que tenga al menos un metro de elevación respecto al nivel de la duna. Esta recomendación deberá revisarse en regiones donde hay fuerte incidencia de huracanes, ya que en estas áreas constituyen un sistema importante de protección, por lo que se recomienda, después de su	El proyecto no realizará construcciones en dunas costeras.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	valoración específica, dejar inalterada esta sección del sistema de dunas.	
URB-57	La restauración de playas deberá realizarse con arena que tenga una composición química y granulometría similar a la de la playa que se va a rellenar. El material arenoso que se empleará en la restauración de playas deberá tener la menor concentración de materia orgánica, arcilla y limo posible para evitar que el material se consolide formando escarpes pronunciados en las playas por efecto del oleaje.	Para el relleno de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, será para recuperar la amplitud de la misma, la cual será obtenida de las zonas de acumulación (bancos de arena) “A” y “G”, mencionados en el Capítulo II y Anexo II.8, del presente manifiesto. Arena que tiene una composición química y granulométrica similar a la de la playa que se va a rellenar.
URB-58	Se prohíbe la extracción de arena en predios ubicados sobre la franja litoral del municipio con cobertura de matorral costero.	No se realizará la extracción de arena sobre la franja litoral, será obtenida de las zonas de acumulación (bancos de arena) “A” y “G”, mencionados en el Capítulo II y Anexo II.8, del presente manifiesto. Arena composición química y granulométrica similar a la de la playa que se va a rellenar.
URB-59	En las áreas verdes los residuos vegetales producto de las podas y deshierbes deberán incorporarse al	No aplica para el proyecto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Clave	Criterio Específico	Vinculación con el proyecto
	suelo después de su composteo. Para mejorar la calidad del suelo y de la vegetación.	

### III.3.2 Desarrollo Urbano

#### III.3.2.1 Actualización del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Puerto Morelos, Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo 2008-2023

La Actualización del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Puerto Morelos, Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo 2008-2023 (APDUCPPM)<sup>33</sup>, establece políticas generales, compuestas por estrategias de desarrollo para el centro de población de Puerto Morelos:

##### 1. Ecología

- Instalar los sistemas de drenaje y saneamiento de aguas residuales necesarios en la zona urbana.
- Establecer la protección de los elementos con valor ecológico, tales como áreas de humedales y selva baja subcaducifolia.

##### 2. Desarrollo Urbano

- Mejorar la imagen urbana del centro de población a través de reglamentos de: elementos constructivos, imagen visual y anuncios.
- Ordenar los usos del suelo del centro de población, evitando el establecimiento de usos incompatibles.
- Ordenar las vialidades internas, tanto de la zona urbana como de la colonia Cetina Gasca, en función de los requerimientos de transporte urbano y foráneo de la población.
- Mantener la continuidad de la traza urbana.
- Establecer corredores con usos mixtos, de tal manera que se fortalezca la ubicación de los centros de barrio, vecinales, y aquellos que la población reconozca como centros de encuentro y de esparcimiento social.

##### 3. Vivienda

- Fortalecer el arraigo de la población de Puerto Morelos.

---

<sup>33</sup>Actualización del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Puerto Morelos, Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo 2008-2023, México, Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo, 20 de mayo de 2009.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- Promover la edificación de vivienda de calidad, con servicios básicos y condiciones adecuadas para los diferentes estratos sociales de la población.
  - Abatir el rezago actual y mejorar las condiciones de calidad de vida
4. Desarrollo Turístico.
- Incrementar la capacidad del equipamiento turístico.
  - Crear accesos controlados hacia la zona de humedales, cenotes y los arrecifes, dotándolos de infraestructura básica que utilice técnicas alternativas en su instrumentación.
  - Promover la creación y la preservación de atractivos inherentes a la cultura Maya.
5. Ordenamiento Territorial
- Mejorar áreas degradadas y con potencial para reforestar las zonas urbanas.
  - Conservar las áreas de humedales, las zonas de selva y las zonas arboladas con alto valor ecológico.
  - Estimular el mejor aprovechamiento para el desarrollo urbano, turístico y agropecuario.
  - Propiciar el Crecimiento de zonas con aptitud y vocación de uso del suelo específico.

### Políticas de Desarrollo Urbano

Para la instrumentación de las políticas, estrategias y acciones previstas en la APDUCPPM, se han considerado tres etapas de desarrollo: la primera, correspondientes al corto plazo, cubre el periodo 2007-2012); la segunda etapa, correspondiente al mediano plazo, cubre el periodo 2013-2018; y la tercera etapa al largo plazo correspondiente al periodo 2019-2025.

### Políticas de Mejoramiento Urbano

Según la APDUCPPM, dichas políticas tienen como finalidad el mejorar las condiciones urbanas, tanto operativas como administrativas del Centro de población. Estas son las siguientes:



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

1. Introducción y complementación de la red de drenaje y alcantarillado tanto de la zona urbana de Puerto Morelos, como de la colonia Cetina Gazca.
2. Complementar la red de agua potable.
3. El empedrado, pavimentado o adoquinado de calles. La pavimentación y obras complementarias de las vialidades de acceso desde la carretera.
4. Continuar el crecimiento de las obras complementarias de urbanización tales como forestación, nomenclatura, iluminación y electrificación adecuada.
5. Es importante llevar a cabo la regularización administrativa de la situación urbana de los predios ante las autoridades municipales.
6. Un punto de vital importancia lo constituye el establecimiento de una política para el manejo de los residuos sólidos. En este sentido se proponen dos acciones fundamentales: el saneamiento y clausura del sitio actual utilizado para la disposición final de los residuos, y la localización de un nuevo sitio para la construcción de una estación de transferencia.
7. Lo anterior estaría en concordancia con la política del gobierno estatal de ubicar los destinos finales de residuos sólidos a través de una visión global en toda la entidad, y no de manera particular en cada localidad.

### Políticas de Crecimiento Urbano

Dichas políticas son aplicables a las Áreas de Reserva Urbana. La primera consiste en la habilitación de estas reservas en caso de que la dinámica poblacional sea mayor a la estimada, lo cual hace necesario una mayor superficie de suelo urbano.

Una política esencial para el desarrollo urbano es la existencia de mayor superficie de metros cuadrados de áreas verdes y espacios abiertos por habitante en la localidad. Por otro lado, se establece la necesidad de crear corredores y paseos amplios en donde se localicen equipamientos de recreación, áreas verdes y reservas ecológicas, con la finalidad de que no se altere el clima y la presencia de flora y fauna nativa; estableciendo asimismo pequeños corredores biológicos.

Conforme a la APDUCPPM, la zonificación primaria se divide en:

- Zonas Habitacionales: comprende todo tipo de zonificación para el uso habitacional. Corresponden a las claves: Zonas Habitacionales Unifamiliar

densidad baja (CH), Zonas Habitacionales Unifamiliar densidad baja (H1-U) y Zonas Habitacionales Unifamiliar densidad baja (H-1M), Zonas Habitacionales densidad media (H2), Zonas Habitacionales Multifamiliares densidad media (H2-M), Zonas Habitacionales Densidad Alta (H3-1) y (H3-2), Zonas Habitacionales Unifamiliar densidad alta (H3-U1), Zonas Habitacionales Unifamiliar densidad alta (H3-U2), Zonas Habitacionales Unifamiliar densidad alta (H3-M1), Zonas Habitacionales Unifamiliar densidad alta (H3-M2).

- Zonas de Uso Mixto: aquellas en las que el uso habitacional se mezcla con las actividades relativas al comercio y servicios, así como instalaciones de equipamiento urbano y alojamiento temporal. Ubicadas principalmente sobre vialidades primarias y en los centros de cada supermanzana preferentemente. Corresponden las claves: Centro Urbano (CU), Comercio de Barrio (C3), Corredor de Servicios (CSC), Mixto Comercial y Servicios (MCS).
- Zonas Comerciales y de Servicios: instalaciones dedicadas al comercio y prestación de servicios. Corresponden la clave: Zonas Comerciales y de Servicios (CSR).
- Zona de Servicios a la Industria y al Comercio: alcance urbano y regional, uso predominante las actividades de abasto, almacenamiento y talleres de servicios y ventas especializadas, se excluyen los usos habitacionales en estas zonas: Corresponde la clave: I.
- Zonas de Equipamiento Urbano: alojamiento de funciones requeridas para satisfacer las necesidades comunitarias, conformadas por las zonas de equipamiento institucional, regional y de infraestructura. Corresponden las claves: Zonas de Equipamiento Urbano (E), Zonas de Equipamiento Institucional (EI), Zonas de Espacios Verdes y Abiertos (EV), Zonas de Equipamiento Regional (ER), Zonas de Equipamiento Especial (EE), Zonas de Equipamiento de Infraestructura (IN).
- Zonas Turísticas: tienen como finalidad las siguientes acciones, salvaguarda la belleza y valor ambiental de los recursos naturales, propiciar el aprovechamiento adecuado del potencial de desarrollo que pueden tener sitios de atractivo natural y proteger las áreas de la excesiva concentración de habitantes. Corresponden las claves: Turístico Hotelero (TH): Turístico Hotelero densidad baja (THB), Turístico Hotelero densidad media (THM) y Campestre Residencial (CR).





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- Asegurar la belleza y valor ambiental de los recursos naturales comparte del atractivo de este tipo de zonas.

La Clave de la zona turística que se encuentra frente al proyecto está catalogada como Turístico Hotelero densidad baja (THM), 50 cuartos por hectárea, cumpliendo el hotel asociado al proyecto, con la zonificación establecida por el APDUCPPM.

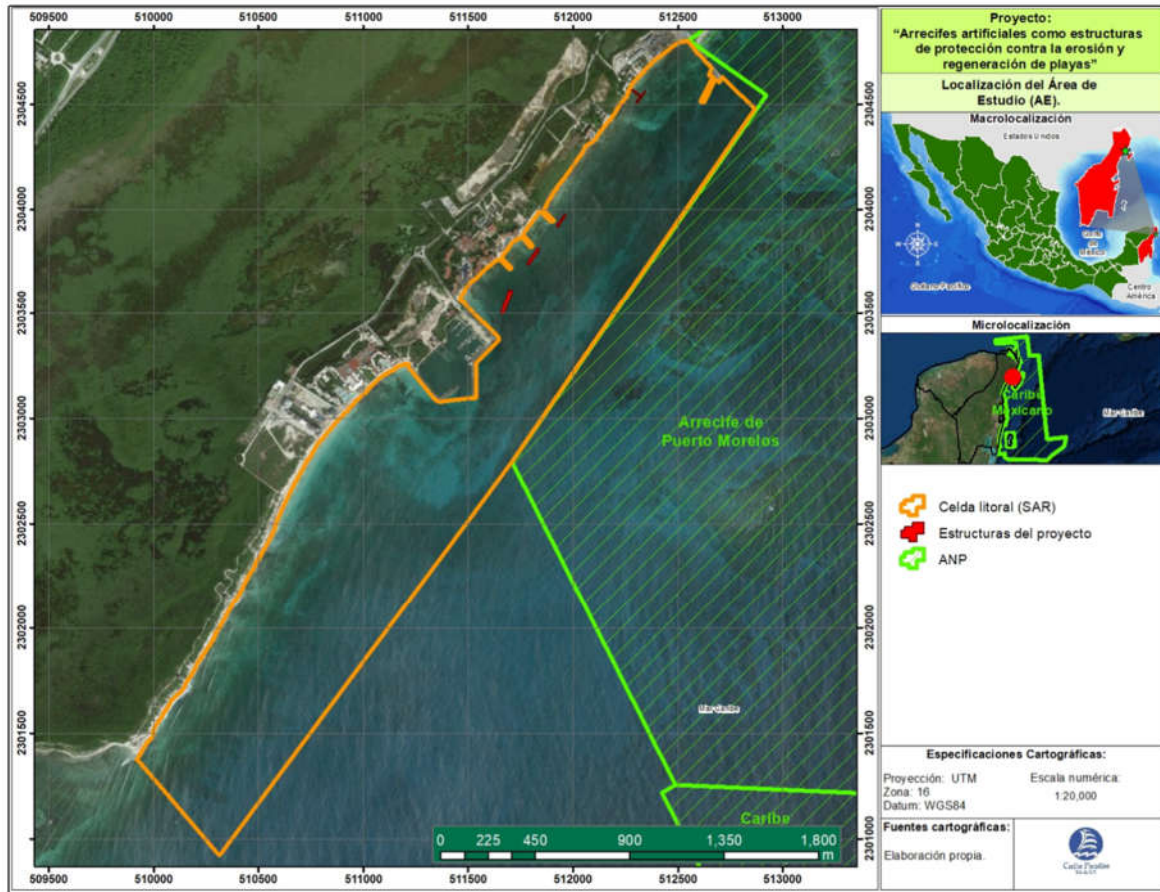
De igual manera, la finalidad del proyecto va de acuerdo con los objetivos establecidos por el APDUCPPM sobre dicha zona, en relación al aprovechamiento del potencial de desarrollo por su atractivo natural, la protección de zonas turísticas contra riesgos hidrometeorológicos y el aseguramiento de la belleza y valor ambiental de la zona.

Tal y como puede observarse el PDU-Puerto Morelos establece normas para regular los usos de suelo del municipio, lo cual ya ha sido contemplado en el proyecto El Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort autorizado en materia de impacto ambiental 1999, de acuerdo a la normatividad que le aplicó en su momento, por lo que lo señalado en el presente instrumento no aplica para el proyecto objeto de la presente Manifestación de Impacto Ambiental.

### III.3.3 Áreas Naturales Protegidas

El proyecto no se ubica dentro de algún Área Natural Protegida, las más cercanas son la **Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano y el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos**, tal como se muestra en la siguiente figura, por lo que su realización no generará ninguna afectación a la misma:

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 6.** Ubicación del proyecto y las Áreas Naturales Protegidas cercanas.

La Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano, decretada como Área Natural Protegida el día 7 de diciembre de 2016, se localiza frente a los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez, Tulum y frente a las costas de Puerto Morelos, Solidaridad, Cozumel, Bacalar y Othón P. Blanco, en el Estado de Quintana Roo, con una superficie total de 5,754,055-36-31.60 hectáreas. De esta superficie 5,725,465-86-57.50 hectáreas corresponden a la porción marina y 28,589-49-74.10 hectáreas corresponden a la porción terrestre. El 30 de noviembre de 2018, se publicó en el DOF, el Resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida de la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano, con los siguientes objetivos específicos:



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- Protección. Favorecer la permanencia y conservación de la diversidad biológica de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, a través del establecimiento y promoción de un conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar el deterioro de los ecosistemas.
- Manejo. Establecer políticas, estrategias y programas, con el fin de determinar actividades y acciones orientadas al cumplimiento de los objetivos de conservación, protección, restauración, capacitación, educación y recreación de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, a través de proyectos alternativos y la promoción de actividades de desarrollo sustentable, promoviendo una economía verde, así como el desarrollo integral costero.
- Restauración. Recuperar y restablecer los procesos naturales que se desarrollan en los ecosistemas de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano.
- Conocimiento. Generar, rescatar y divulgar conocimientos, prácticas y tecnologías, tradicionales o nuevas que permitan tomar las decisiones adecuadas para la preservación y el uso sustentable de la biodiversidad de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano.
- Cultura. Difundir acciones de conservación de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, propiciando la participación activa de las comunidades aledañas que generen la valoración de los servicios ambientales, mediante la identidad, difusión y educación para la conservación de la biodiversidad que contiene.
- Gestión. Establecer las formas en que se organizará la administración de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano por parte de la autoridad competente, así como los mecanismos de participación de los tres órdenes de gobierno, de los individuos y comunidades, así como de todas aquellas personas, instituciones, grupos y organizaciones sociales interesadas en su conservación y aprovechamiento sustentable.

### Zona de Influencia

La zona de influencia del ANP RBCM abarca la totalidad del Estado de Quintana Roo, así como las porciones marinas entre esta Reserva y otras ANP y los límites con la costa del Estado, sin incluir a las ANP de carácter Federal existentes. Cabe señalar que en dichas Áreas Naturales Protegidas aplica el Decreto por el que se declara



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Área Natural Protegida, con el carácter de RBCM y su Programa de Manejo. Esta zona de influencia toma como antecedente:

Terrestre: Sitios prioritarios acuáticos epicontinentales para la conservación de la biodiversidad de la CONABIO; sitios prioritarios terrestres para la conservación de la biodiversidad de la CONABIO; áreas de importancia para la conservación de las aves, 2015 de la CONABIO, y los límites y la regionalización de los corredores biológicos del sureste de México de la CONABIO.

Marino: Área Sujeta a Ordenamiento Ecológico del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe; Zonas Marinas Significativas Ecológica y Biológicamente del Convenio sobre la Diversidad Biológica, y el Sistema Arrecifal Mesoamericano.

En esta zona de influencia se lleva a cabo una conectividad ecológica importante con la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, que incluye una interacción hidrológica, biológica, geológica, atmosférica, cultural, económica, social y escénica. En cuanto a la relación hidrológica, la salud del ambiente marino de la Reserva de la Biosfera está íntimamente relacionada con las actividades que se llevan a cabo tierra adentro y en las costas, particularmente aquellas relacionadas con la descarga de sedimentos y nutrientes terrestres a las cuencas hidrológicas.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Es así que a continuación se presenta la vinculación del proyecto con las disposiciones de la zona de influencia:

<b>VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO</b>		
<b>Disposiciones de la Zona de Influencia</b>		
<b>Disposición</b>		<b>Vinculación jurídica</b>
En cuanto a la relación cultural, se encuentran los siguientes sitios arqueológicos correspondientes a la Cultura Maya: Calica, Chakanbakán, Cobá, Caracol – Punta Sur, Xcabal, Chacchoben, Dzibanché, Kinichná, El Meco, El Rey, Kohunlich, Muyil, Oxtankah, Playa del Carmen, San Gervasio, San Miguelito, Tulum, Xel-há, Xcaret, Playa del Carmen.		Dada la ubicación del proyecto no se afectará ninguna de las zonas arqueológicas referidas.
Las descargas que tengan efecto directo en el Área Natural Protegida se recomiendan cumplir con los siguientes parámetros:		El proyecto no realizará ninguna descarga a la zona marina, debido a que el hotel al cual se encuentra asociado cuenta con infraestructura para la disposición de descargas de aguas grises que serán las únicas que se generarán por el uso de sanitarios por parte del personal.
<b>Disposición</b>		<b>Vinculación jurídica</b>
<b>Parámetro</b>	<b>Límite de efluente</b>	
Total de sólidos en suspensión	30 mg/l (No incluye las algas de los estanques de tratamiento)	No aplica para el proyecto.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	30 mg/l	No aplica para el proyecto.
pH	5-10 unidades de pH	No aplica para el proyecto.
Grasas y aceites	15 mg/l	No aplica para el proyecto.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO		
Disposiciones de la Zona de Influencia		
Coliformes fecales (las partes podrán cumplir los límites de efluentes para los coliformes fecales o <i>E. coli</i> o enterococos	Coliformes fecales: 200 mnp/100 ml o a) <i>E. coli</i> : 126 organismos/100ml b) enterococos: 35 organismos/100 ml	No aplica para el proyecto.
Sustancias flotantes	No visibles	No aplica para el proyecto.
Nitrógeno Total	No especificado/Concentraciones que no dañen los ecosistemas	No aplica para el proyecto.
Fósforo Total	No especificado/Concentraciones que no dañen los ecosistemas	No aplica para el proyecto.
Toxicidad	< 1 Unidad de Toxicidad	No aplica para el proyecto.
<b>Disposición</b>	<b>Vinculación jurídica</b>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO</b>	
<b>Disposiciones de la Zona de Influencia</b>	
<p>El buen estado de conservación de la Reserva de la Biosfera proporciona beneficios ambientales a la Zona de Influencia gracias a la gran variedad de servicios ambientales que brinda, así como el valor paisajístico que da a las actividades turístico-recreativas que, a su vez, genera efectos económicos positivos. Asimismo, la funcionalidad de los ecosistemas interconectados conforma el patrimonio natural de esta zona turística.</p>	<p>Con la finalidad de evitar la erosión costera, el proyecto contempla la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera y el relleno de playa, lo cual permitirá proteger del oleaje la costa y a las especies que en ella habitan, manteniendo la belleza natural del lugar y propiciando la colonización natural de especies, en la infraestructura colocada. Además, se implementará un Programa de Manejo Ambiental, en el cual se incluyen acciones para la protección y conservación del medio marino; lo que contribuirá a mantener la funcionalidad del ecosistema.</p>

### **REGLAS ADMINISTRATIVAS DEL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO**

Las Reglas Administrativas del Programa de Manejo de la RBCM son aplicables a las actividades que se desarrollen en la Reserva, a fin de prevenir el desarrollo de conductas que impacten negativamente los ecosistemas, ya que éstos proveen servicios ambientales y mantienen una estrecha conectividad ecológica; además, son sitios de alimentación y descanso de tortugas marinas catalogadas en peligro de extinción en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. También existe una presión de uso muy intensa en este sitio debido a sus características de baja profundidad, seguridad y fácil acceso. Por lo anterior, es necesario regular las actividades turístico-recreativas dentro de la Reserva de la Biosfera que considere la capacidad de carga de sus ecosistemas.

En la RBCM se podrán llevar a cabo proyectos de restauración, asociados a los hábitats artificiales, por lo que será necesario contemplar dentro de sus medidas



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

preventivas los daños a los ecosistemas costeros aledaños, así como no interrumpir las dinámicas poblacionales (reproducción, crianza etc.) que se den en éstos. Hay numerosos ejemplos a nivel mundial donde estas estructuras artificiales se han usado para realizar varias funciones, por ejemplo, la protección física de ecosistemas sensibles y frágiles, aumento y recuperación de la conectividad entre hábitats.

La colocación de estos hábitats artificiales contempla devolver un hábitat a su condición original; a un estado de conservación superior y mejorarlo. Estas obras ayudarán a futuro a aumentar la complejidad estructural de las comunidades, el aumento de las áreas de cría y la reducción en las alteraciones de las redes tróficas bentónicas, lo que se traduce en un aumento de la diversidad biológica marina. Esta actividad fomenta la colonización de nuevos sitios por parte de corales Escleractinios y otra fauna asociada, aumentando la superficie de este ecosistema, el cual es uno de los más vulnerables a los cambios físico-químicos derivados por el cambio climático, y que a la vez es la base de la cadena trófica.

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
Precepto legal	Vinculación jurídica
Regla 1. Las presentes reglas son de observancia general y obligatoria para todas aquellas personas físicas o morales que realicen actividades dentro de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, localizada en los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez, Tulum y frente a las costas de Puerto Morelos, Solidaridad, Cozumel, Bacalar y Othón P. Blanco, en el Estado de Quintana Roo, con una superficie total de 5, 754,055-36-31.60 hectáreas.	
Regla 2. La aplicación de las presentes reglas corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, en coordinación con la Secretaría de Marina, sin perjuicio de las atribuciones que correspondan a otras dependencias del Ejecutivo Federal de conformidad con el Decreto de creación del Área Natural Protegida, su Programa de Manejo y demás ordenamientos legales y reglamentarios aplicables.	
Regla 3. Para efectos de lo previsto en las presentes reglas, se entenderá por:	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO</b>	
<b>Reglas Administrativas</b>	
<p>II. Arrecife artificial. Estructuras sumergidas parcial o totalmente, ancladas al lecho marino con fines de protección costera, recuperación de playas, o que fomenten actividades turísticas que a su vez disminuyan la presión sobre los arrecifes naturales;</p>	<p>El proyecto contempla la instalación de AA y la sustitución de tres espigones por andadores de madera además del relleno de playa, a fin de dar una solución integral a la problemática de erosión y pérdida de playa en la zona, lo cual será benéfico para las condiciones del Sistema Ambiental Regional (celda litoral) y traería beneficios a los visitantes del hotel y la biota marina.</p>
<p>XIV. Hábitat artificial. Estructuras sumergidas ancladas al lecho marino, que se instalan con el propósito de restauración o de proveer sustrato, refugio, alimento y condiciones de reproducción a la fauna y flora marina, contribuyendo al repoblamiento, incremento de la biomasa y la diversidad de las especies; y que pueden ser utilizadas para fomentar actividades turísticas y pesqueras, o para el control de especies invasoras;</p>	<p>Los arrecifes artificiales que se plantean instalar además de proteger de la erosión en la playa, serán sustrato para el establecimiento de organismos y refugio para otros. Los primeros en llegar serán los peces que encuentran refugio en los intersticios, posteriormente se irán estableciendo algas, esponjas incrustantes, y corales escleractinios y octocorales, y al haber alimento para otras especies, la biodiversidad irá aumentando paulatinamente.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>Regla 72. La instalación de boyas o arrecifes artificiales, y los proyectos de recuperación de playas, deberán realizarse sin afectar pastos marinos, arrecifes de coral, duna costera, manglar, o las interacciones entre ecosistemas y servicios ambientales que proveen. Y sin utilizar estructuras que puedan ser desplazadas o lanzadas, en caso de eventos hidrometeorológicos.</p>	<p>Tal y como ha sido indicado, la ubicación inicial de los AA fue modificada a fin de no afectar zonas de pastizales marinos, localizándose fuera de la cercanía de formaciones arrecifales, que pudieran ser afectados. Las estructuras propuestas se basan en estudios específicos para mejorar las condiciones del sitio, considerando el tamaño y peso de las piezas que los conforman a fin de que no sean desplazadas del sitio donde sean colocadas, no obstante, se considera el mantenimiento de los AA, en caso de que un evento hidrometeorológico llegue a modificar las estructuras o sus componentes, dando la notificación respectiva a la autoridad ambiental.</p>
<p>Regla 73. Los proyectos de protección costera, recuperación de playas, extracción de arena, instalación de arrecifes artificiales y sus obras asociadas, deberán atender lo siguiente:</p>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>I. Formar parte de proyectos integrales de recuperación, minimizando los impactos ambientales en zonas aledañas;</p>	<p>Con base en los resultados de los estudios técnicos (caracterización del área del proyecto y del SAR, así como estudios de ingeniería y dinámica costera), se contempla el desarrollo de un proyecto integral considerando la colocación de estructuras de protección paralelas a la costa lo que, en conjunción con la sustitución de tres espigones por andadores de madera permitirá la regeneración de la playa actualmente afectada por la pérdida de sedimento. Lo que dará una solución integral a la problemática identificada, contribuyendo con ello a mejorar las condiciones del Sistema Ambiental Regional y la biota, tanto del área del proyecto como de las zonas aledañas.</p>
<p>II. Atender a una problemática natural, sustentada con estudios actualizados de dinámica costera los cuales al menos deben considerar los siguientes:</p>	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<p>a. La energía en el sistema como vientos, nivel del mar, corrientes marinas locales y de mar profundo, y eventos extremos;</p>	<p>El análisis del Sistema Ambiental Regional del proyecto, comprende estudios de los vientos, determinándose que, en invierno, los dominantes provienen del norte; mientras que, el resto del año, provienen del sureste. Tratándose de corrientes marinas, se observa que, de manera general, el Sistema Ambiental Regional del proyecto está dominado por la Corriente del Caribe que corre de sur a norte, en forma paralela a la línea de costa, frente al estado de Quintana Roo así mismo, se realizaron estudios de la velocidad de corrientes en el Sistema Ambiental Regional los cuales incluyen las condiciones más frecuentes que tienen lugar en situación de oleaje de calma o no tormenta y debido a las tormentas típicas que se presentan y Huracanes. Los escenarios de simulación contemplan una condición desfavorable de oleaje e incremento del nivel del mar en situación de huracán y efectos de cambio climático estudios que se pueden ver a detalle en los anexos del capítulo II de la MIA-R. De acuerdo con la información obtenida, se observa que las depresiones tropicales y ciclones se manifiestan durante los meses de junio a octubre y los ciclones tropicales de mayor intensidad se presentan en los meses de agosto y septiembre.</p>
<p>b. Características físicas del sistema;</p>	<p>El Sistema Ambiental Regional (celda litoral), delimitado para este proyecto</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO</b>	
<b>Reglas Administrativas</b>	
	ocupa un área de 267.37 ha. Este polígono abarca una distancia lineal de 4.5 km de frente de playa, y en la parte marina profunda está delimitado a una profundidad promedio de 10 metros.
c. Batimetría y topografía, incluyendo forma de la costa y obstáculos;	Para determinar la profundidad marina en el frente marítimo se realizó un levantamiento batimétrico el cual incluye la forma de la costa los “obstáculos” presentes en la.
d. Estructuras artificiales existentes, y su influencia en la disipación de la energía del oleaje, la modificación de corrientes, transporte y disponibilidad de sedimentos;	Los estudios realizados consideraron en su elaboración las estructuras artificiales existentes, actualmente existen tres espigones, que fueron colocadas por las afectaciones generadas por el huracán Willma, las cuales de acuerdo con estudio técnico de ingeniería obstruyen el aporte de sedimento que se da de manera natural y que generan la erosión de la playa, por lo que es necesario su sustitución por estructuras que permitan restablecer los flujos, transporte y disponibilidad de sedimentos.
e. Sedimentos: volumen/cantidad, origen y sus características;	Se realizó un análisis métrico del sedimento de los perfiles de playa para entender el transporte de sedimento presente en la celda litoral y relacionarlo con la dinámica costera (ver anexos capítulo II).

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>f. Ecosistemas presentes, su estado de conservación, extensión y tipo de arrecifes, pastos marinos, dunas ya que son factores influyentes en la dinámica costera, y</p>	<p>En el SAR (celda litoral), se reconocieron siete tipos de ambientes, de acuerdo con sus características de tipo de sustrato, profundidad, topografía del lugar, así como de la biota marina dominante. Dichos ambientes son: 1) arenal somero, 2) laja con algas, 3) laja con algas y gorgonáceos, 4) laja con sedimentos, 5) laja con sedimentos y algas, 6) pastizal mixto y 7) rocas con algas (Ver capítulo IV y Anexo IV.1). Llevando a cabo la descripción de los mismos, así como su estado de conservación/deterioro.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>g. Todos estos factores se deben considerar una escala espacial geográfica adecuada para comprender el funcionamiento del sistema y el impacto de las obras propuestas en él.</p>	<p>Con la información de los factores físicos naturales y antropogénicos, se definió el área del SAR que permitiera definir el funcionamiento del sistema y el impacto de las obras propuestas, es así que se delimitó la celda litoral que conformaría el Sistema Ambiental Regional. Esta área abarca una distancia lineal de aproximadamente 4.5 km de frente de playa, y en la parte marina profunda está delimitado por una distancia de la línea de costa de aproximadamente de entre 500 y 850 m, a una profundidad aproximada de 10 metros. La superficie del polígono del SAR en su parte marina es de 267.37 hectáreas, dicho estudio junto con la caracterización de la flora y fauna marina permite dimensionar los impactos que puedan generarse por el desarrollo del proyecto, tal y como se observa en el capítulo V y proponer las medidas de prevención mitigación y compensación que disminuyan la afectación negativa que éste pudiera generar, ver capítulo VI.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO</b> <b>Reglas Administrativas</b>	
<p>III. No afectar ni alterar las áreas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje de las especies silvestres, en especial de las catalogadas en alguna categoría de riesgo, así como no afectar la alimentación, tránsito y reproducción de las tortugas marinas y otras especies;</p>	<p>La playa frente a donde se ubica el proyecto presenta una baja densidad de anidamientos de tortuga marina, de aproximadamente 2.2 nidos en promedio por año (Tabla 70, Capítulo IV). No obstante, los AA contarán con un espaciamiento entre las estructuras colocadas permitiendo el paso de tortugas, así como de otras especies, es importante hacer notar que no se verán afectadas áreas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje de las especies silvestres, en especial de las catalogadas en alguna categoría de riesgo, así como no afectar la alimentación, tránsito y reproducción de las tortugas marinas y otras especies. Así mismo el Hotel al cual se encuentra asociado el proyecto, se llevan a cabo acciones para el cuidado y protección de las especies de tortugas que llegan a anidar a esta zona por lo que hembras y crías seguirán siendo protegidas. A fin de no afectar pastos marinos los sitios propuestos en primera instancia para la instalación de las estructuras de protección AA, se modificaron lo que permitirá mantener los pastos marinos localizados en el SAR.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>IV. No afectar los procesos de dinámica costera en el área marina, el sistema playa-duna costera, del área inmediata y de la zona de influencia;</p>	<p>La ubicación, tipo y diseño de los AA fueron determinados a través modelos, basados en estudios técnicos de dinámica costera y caracterización ambiental, por lo que con la instalación de los AA contribuirá al control de la erosión en la zona costera y ello restablecerá las condiciones naturales de la playa, así como de la dinámica costera, el proyecto se concibe como una solución integral que no afectará negativamente la zona de influencia del proyecto.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>V. Contemplar un programa de contingencia ante algún derrame o demás afectaciones a los ecosistemas;</p>	<p>Se verificará que las embarcaciones, en caso de utilizarlas, así como las grúas necesarias para la instalación de los AA estén en perfectas condiciones, a fin de evitar cualquier derrame de combustible aceite o grasa</p> <p>Una vez autorizado el proyecto, se entregará a la autoridad correspondiente, el Subprograma de Contingencia ante algún derrame o demás afectaciones a los ecosistemas en el cual entre otras acciones se incluirán: la detención de las actividades, el retiro de la embarcación para su revisión y reparación fuera del área, el uso de cojines de absorción. Los desechos serán almacenados en una zona específica y serán dispuestos en centros especializados para ello. Este subprograma formará parte del Programa de Manejo Ambiental propuesto en la MIA-R.</p> <p>Lo anterior, con el fin de evitar cualquier afectación a los ecosistemas cumpliendo así con esta regla.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO</b>	
<b>Reglas Administrativas</b>	
VI. Los arrecifes artificiales no podrán colocarse sobre estructuras coralinas;	Con base en la caracterización marina de las áreas propuestas para la instalación de los arrecifes artificiales (Capítulo IV, Anexo IV.1), será principalmente en laja somera con sedimentos. Además, el sitio del proyecto no comprende estructuras coralinas como tal es así que la instalación de los AA, generaría la protección de estos.
VII. Los proyectos de arrecifes artificiales deberán contar con un plan de modificación o desmantelamiento en caso de que no se cumplan los objetivos por los cuales fueron instalados o que genere efectos negativos en el área inmediata o aledaña, y	Al ser autorizado el proyecto, se entregará a la autoridad un Plan de modificación o desmantelamiento de los AA en caso de que no se cumplan los objetivos por los cuales fueron instalados o que genere efectos negativos en el área inmediata o aledaña para ello, se implementara un programa de monitoreo del perfil costero que permita dar seguimiento a los resultados generados por el proyecto.
VIII. Los proyectos de instalación de arrecifes artificiales con fines turísticos, deberán contar con estudios de capacidad de carga, senderos y señalización.	No aplica para el proyecto.
Regla 74. Los proyectos de colocación de hábitats artificiales y las obras y actividades asociadas a dichos proyectos, deberán atender las siguientes indicaciones:	

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>I. Sustentar con los estudios correspondientes la viabilidad del sitio seleccionado para la ejecución del proyecto;</p>	<p>La viabilidad del sitio seleccionado para la instalación de los arrecifes artificiales se sustenta en los estudios técnicos especializados siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dinámica costera de la (anexo II.1 a II.3).</li> <li>2. Caracterización Biológica Marina del Sistema Ambiental Regional y de los sitios propuestos para la ubicación de los AA (Anexo IV.1).</li> </ol> <p>Estos estudios de sedimentos (anexo II.2) y los estudios específicos elaborados para el proyecto garantizan que el diseño, ubicación y orientación de los arrecifes artificiales sea el idóneo para dar una solución integral a la problemática identificada, contribuyendo con ello a mejorar las condiciones de la playa y de la biota marina.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>II. No afectar ni alterar las áreas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje de las especies silvestres, en especial de las catalogadas en alguna categoría de riesgo, así como no afectar la alimentación, tránsito y reproducción de las tortugas marinas y otras especies;</p>	<p>La playa presenta una baja densidad de anidamientos de tortuga marina, de aproximadamente 2.2 nidos en promedio por año. No obstante, los AA contarán con un espaciamiento entre las estructuras colocadas permitiendo el paso de tortugas, así como de otras especies, es importante hacer notar que no se verán afectadas áreas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje de las especies silvestres, en especial de las catalogadas en alguna categoría de riesgo, así como no afectar la alimentación, tránsito y reproducción de las tortugas marinas y otras especies. Así mismo el Hotel al cual se encuentra asociado el proyecto, se llevan a cabo acciones para el cuidado y protección de las especies de tortugas que llegan a anidar a esta zona por lo que hembras y crías seguirán siendo protegidas. A fin de no afectar pastos marinos los sitios propuestos en primera instancia para la instalación de las estructuras de protección AA, se modificaron lo que permitirá mantener los pastos marinos localizados en el SAR.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>III. No afectar los procesos de dinámica costera en el área marina, el sistema playa-duna costera, del área inmediata y de la zona de influencia;</p>	<p>La ubicación, tipo y diseño de los AA fueron determinados a través modelos, basados en estudios técnicos de dinámica costera y caracterización ambiental, por lo que con la instalación de los AA contribuirá al control de la erosión en la zona costera y ello restablecerá las condiciones naturales de la playa, así como de la dinámica costera, el proyecto se concibe como una solución integral que no afectará negativamente la zona de influencia del proyecto.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
IV. Contemplar un programa de contingencia ante algún derrame o demás afectaciones a los ecosistemas;	Se verificará que las embarcaciones, en caso de utilizarlas, así como las grúas necesarias para la instalación de los AA estén en perfectas condiciones, a fin de evitar cualquier derrame de combustible aceite o grasa Una vez autorizado el proyecto, se entregará a la autoridad correspondiente, el Subprograma de Contingencia ante algún derrame o demás afectaciones a los ecosistemas en el cual entre otras acciones se incluirán: la detención de las actividades, el retiro de la embarcación para su revisión y reparación fuera del área, el uso de cojines de absorción. Los desechos serán almacenados en una zona específica y serán dispuestos en centros especializados para ello. Este subprograma formará parte del Programa de Manejo Ambiental propuesto en la MIA-R.
V. Los hábitats artificiales no podrán colocarse sobre estructuras coralinas, y	Como ha sido mencionado anteriormente los AA se colocarán, principalmente, sobre una planicie de laja somera con sedimento y algas, sin presentarse estructuras coralinas en el área.
VI. Los proyectos de instalación de hábitats artificiales con fines turísticos, deberán contar con estudios de capacidad de carga, senderos y señalización.	No aplica para el proyecto.



**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>Regla 75. Para obras de dragado se deben implementar medidas para minimizar la dispersión del sedimento y evitar el daño a los ecosistemas costeros y marinos, así como realizar acciones preventivas para el manejo y disposición del material producto del dragado.</p>	<p>El proyecto no considera ningún tipo de obras de canalización ni dragado, no obstante, para la sustitución de los espigones, así como para la instalación de los AA se utilizará una geomalla para evitar que los sedimentos se dispersen y contaminen el litoral y el fondo marino, esta acción también se considera para el relleno de playa en caso necesario. Asimismo, dentro del Programa de Manejo Ambiental, se llevarán al cabo acciones de vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las obras, además la disposición del material obtenido de los espigones que serán retirados, serán dispuestos en sitios establecidos y autorizados para ello.</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO</b>	
<b>Reglas Administrativas</b>	
<p>Regla 81. La instalación de infraestructura, obras y actividades, incluyendo el dragado y mantenimiento de canales, que por su naturaleza puedan provocar impactos derivados de la suspensión de sedimentos, sólo podrán autorizarse cuando: a través de estudios de dispersión de sedimentos y la aplicación de medidas de mitigación correspondientes se demuestre la no afectación a especies en categoría de riesgo, arrecifes de coral y a los pastos marinos; así como a los servicios ambientales que éstos proveen.</p> <p>Para el caso de las obras o actividades que realice la SEMAR para atender una situación de emergencia, se deberá de atender lo previsto por los artículos 7 y 8 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental.</p>	<p>El proyecto no considera ningún tipo de ni dragado o mantenimiento de canales, sin embargo, para la sustitución de los espigones, así como para la instalación de los AA se utilizará una geomalla para evitar que los sedimentos se dispersen y puedan afectar especies en categoría de riesgo, arrecifes de coral y a los pastos marinos; así como a los servicios ambientales que éstos proveen, esta acción también se considera para el relleno de playa en caso necesario.</p> <p>Asimismo dentro del Programa de Manejo Ambiental, se llevarán al cabo acciones de vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las obras, además la disposición del material obtenido de los espigones que serán retirados, serán dispuestos en sitios establecidos y autorizados para ello</p>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

VINCULACIÓN JURÍDICA DEL PROYECTO CON EL PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA CARIBE MEXICANO	
Reglas Administrativas	
<p>Regla 82. Quienes pretendan realizar obras o actividades dentro de la Reserva de la Biosfera deberán contar, en su caso, y previamente a su ejecución, con la autorización en materia de impacto ambiental correspondiente en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental, independientemente del otorgamiento de permisos, licencias y autorizaciones que deban expedir otras autoridades, conforme a las disposiciones jurídicas que correspondan.</p>	<p>El proyecto considera obras y actividades a desarrollar en la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera, por lo que se somete a evaluación de impacto ambiental, cubriendo con los requisitos técnicos y legales para ser evaluado, dando cumplimiento a la presente regla.</p>

Por otro lado, el proyecto como se ha mencionado no se localiza en el ANP Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, la cual fue decretada como Área Natural Protegida el día 2 de febrero de 1998, se ubica en la Costa Caribe del Municipio de Benito Juárez, frente al poblado de Puerto Morelos en el Estado de Quintana Roo, con una superficie total de 9,066-63-11 hectáreas. Sus coordenadas geográficas extremas son: 21°00'00" y 20°48'33" latitud norte y 86°53'14.94" y 86°46'38.94" longitud oeste. El 18 de septiembre de 2000, se publicó en el DOF, el Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, con los siguientes objetivos particulares:

- Establecer los lineamientos que aseguren la conservación de los ecosistemas naturales costeros, arrecifales y marinos presentes en el Parque Nacional, preservando la diversidad genética del área y la continuidad de los procesos evolutivos de las plantas y animales que en él tienen su hábitat, ocasional o permanentemente.

- Definir las condiciones generales que permitan hacer compatible el desarrollo de actividades económicas, con la conservación de los recursos naturales y el desarrollo social, con especial atención a las necesidades y expectativas de la comunidad de Puerto Morelos, con la finalidad de lograr un aprovechamiento sustentable.
- Promover la investigación científica y el monitoreo ambiental, social, económico y cultural, encaminados a la identificación, la evaluación, la recuperación y el uso sustentable de los recursos naturales del Parque Nacional, con el fin de conocer de manera integral los procesos y ecosistemas, terrestres y marinos, así como los recursos naturales susceptibles de ser utilizados en forma sustentable.
- Establecer los mecanismos para que se disminuya el impacto de las acciones humanas sobre las estructuras arrecifales, los pastos marinos y la duna costera para proteger a la infraestructura y a la población existente en Puerto Morelos.
- Establecer la reglamentación para que las actividades recreativas, las que propician la identidad comunitaria y las de pesca de autoconsumo, sean respetadas y favorecidas.

Aún y cuando el proyecto se localiza fuera de las ANP’s mencionadas, coincide con varios de los objetivos de las mismas, como son la conservación de los ecosistemas naturales costero, arrecifales y la biodiversidad través de medidas para mejorar el ambiente y controlar el deterioro de los ecosistemas, restablecimiento de procesos naturales y el establecimiento de mecanismos para disminuir el impacto en diversos ecosistemas, tal y como se ha manifestado en la vinculación del proyecto con la normatividad anteriormente expuesta.

### III.3.4 Regiones Prioritarias

El Programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, Arriaga et al., 2000), se orienta a la detección de áreas, cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad en diferentes ámbitos ecológicos. Así, la CONABIO ha impulsado la identificación, además de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), de las Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP, ámbitos acuáticos continentales) y de las



Regiones Prioritarias Marinas (RPM, ámbitos costeros y oceánicos). Una regionalización complementaria, desarrollada por Cipamex, corresponde a las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA). De ahí que esta regionalización ha sido un esfuerzo técnico de la CONABIO por identificar aquellas regiones con alguna importancia, sin embargo, no han sido elevadas a calidad de regulación específica para el país, sea como norma u otro instrumento, ni publicadas en el Diario ni Periódico Oficial.

En este documento se determinó, que el predio se ubica en una de las regiones prioritarias propuestas por la CONABIO, y se analiza su impacto en términos de lo que especifica el área.

### III.3.4.1 Regiones Terrestres Prioritarias

El Programa de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) tiene como objetivo general la determinación de unidades ambientales estables en la parte continental del territorio nacional que destaquen la presencia de una riqueza ecosistémica y específica comparativamente mayor que en el resto del país, así como una integridad ecológica funcional significativa y donde, además, se tenga una oportunidad real de conservación.

El proyecto, no se localiza en ninguna RTP, que pudiera ser afectada por la realización del mismo, tal como se muestra en la siguiente figura, siendo las más cercanas (40 km y 100 km, del sitio del proyecto) las siguientes RTP:

- Dzilam-Ría Lagartos- Yum Balam, misma que comprende los humedales del norte de Yucatán; posee un alto valor tanto biogeográfico como ecosistémico y constituye un área homogénea desde el punto de vista topográfico. El principal tipo de vegetación representado en esta región es el manglar. Dentro de esta RTP se incluyen dos ANP: Isla Holbox y Ría Lagartos.
- Sian Ka'an- Uaymil-Xcalak, región definida como prioritaria en función a la riqueza de ecosistemas con un grado alto de conservación. Existe un alto nivel de conocimiento. Comprende las ANP de Sian Ka'an y Uaymil, la península meridional de Quintana Roo (región Majahual-Xcalak) que bordea la bahía de Chetumal. Predomina la vegetación de selva baja

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

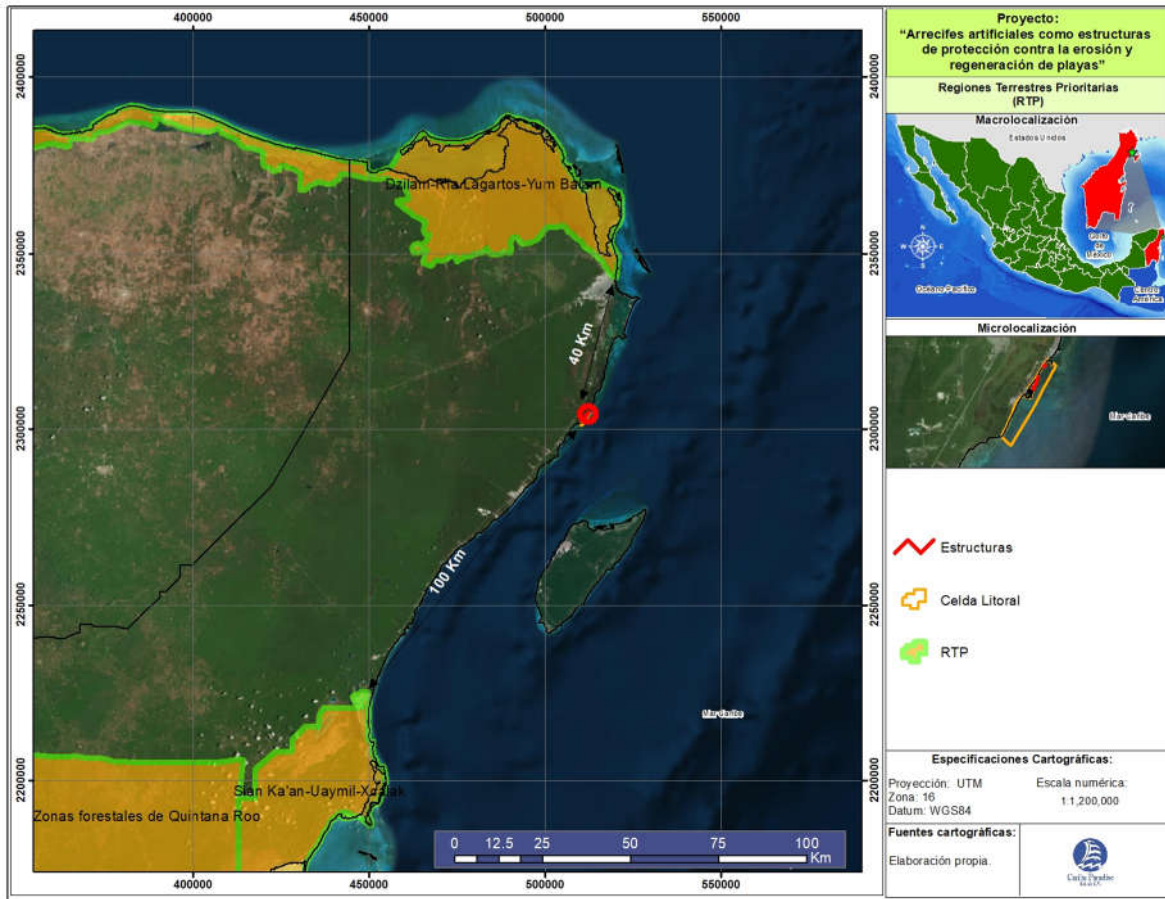
---

subperennifolia, el manglar y la vegetación de zonas inundables, en un área con baja presencia de población humana (poblados costeros a lo largo de la comunicación carretera Cafetal-Majahual-Santa Cecilia y del entronque de Majahual hacia Tampalam). Presenta continuidad y comunicación con las otras regiones prioritarias del sur de Quintana Roo y los ecosistemas costeros y marinos de la zona tanto de México como de Belice.

- Zonas forestales de Quintana Roo, esta RTP fue considerada como tal en virtud de poseer las masas forestales continuas y bajo manejo probablemente de mayor importancia del México tropical. La existencia de esta región es relevante por su papel como corredor biológico y por favorecer la presencia de especies propias del ecosistema de selva mediana subperennifolia en extensiones grandes y con alto grado de conservación. El tipo de vegetación predominante es de selva mediana subperennifolia. Debido a que la topografía es muy homogénea, el patrón ecosistémico obedece básicamente al gradiente latitudinal que se presenta en la península de Yucatán.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 7.** Ubicación del proyecto y las RTP, más cercanas.

### III.3.4.2 Regiones Marinas Prioritarias

La vastedad de los ecosistemas marinos es una de las principales razones por las que su conocimiento e información son, frecuentemente, escasos y fragmentados. Sin embargo, la intrincada dependencia de la humanidad respecto de los recursos y la conciencia de que estos recursos están siendo fuertemente impactados por las mismas actividades humanas, ha planteado la necesidad de incrementar el conocimiento sobre el medio marino, a todos los niveles, para emprender acciones que conlleven a su mantenimiento, conservación, recuperación o restauración.

Es bajo este contexto que el Programa de Regiones Marinas Prioritarias (RMP) llevó a cabo una clasificación de las 70 áreas prioritarias, considerando criterios





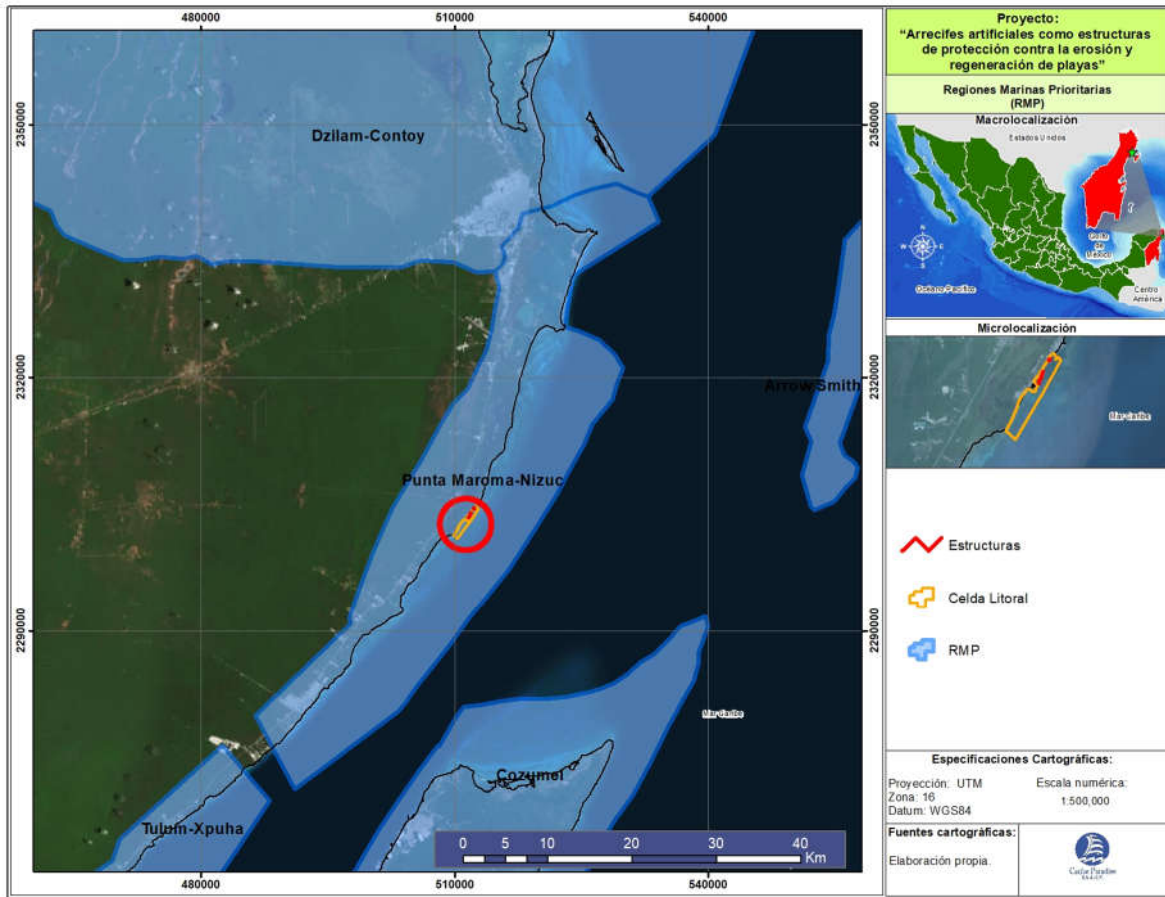
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

ambientales (integridad ecológica, endemismo, riqueza, procesos oceánicos, etc.), económicos (especies de importancia comercial, zonas pesqueras y turísticas importantes, recursos estratégicos, etc.) y de amenazas (contaminación, modificación del entorno, efectos a distancia, especies introducidas, etc.); a partir de estas últimas, se realizaron recomendaciones para la prevención, mitigación, y control de las zonas marinas.

La clasificación de las áreas prioritarias, la descripción de sus características físicas, biológicas y sociales, así como las problemáticas y sugerencias identificadas no pretenden ser una revisión exhaustiva y terminante. Por el contrario, por un lado, reflejan el conocimiento, la experiencia y el sentir de un vasto número de científicos, trabajadores gubernamentales, cooperativas, asociaciones civiles, etc., y por el otro, intenta resaltar las definiciones, los problemas, el conocimiento y las propuestas más actuales y frecuentes en la materia. Asimismo, representan un marco de referencia y una herramienta que espera ser útil para tomadores de decisiones, científicos, usuarios y público en general.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 8.** Ubicación del proyecto y la RMP Punta Maroma-Nizuc, así como las RMP cercanas.

Tal como se muestra en la figura anterior, el proyecto materia del presente manifiesto, se localiza en la RMP No. 63 denominada Punta Maroma-Punta Nizuc, misma que tiene una extensión de 1, 005 km<sup>2</sup>, el polígono se localiza en latitud. 21°11'24" a 20°32'24", longitud. 87°7'48" a 86°40'12".

Las características de la RMP No. 63, son las siguientes:

- Clima: cálido subhúmedo con lluvias en otoño. Temperatura media anual 22-26 °C. Ocurren tormentas tropicales, huracanes, nortes.
- Geología: placa de Norteamérica, rocas sedimentarias, plataforma amplia.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- Descripción: arrecifes, lagunas, playas, dunas costeras, estuarios.
- Oceanografía: predomina la corriente de Yucatán. Oleaje variable. Aporte de agua dulce por lagunas. Hay giros y contracorriente.
- Biodiversidad: moluscos, poliquetos, equinodermos, crustáceos, esponjas, corales, artrópodos, tortugas, peces, aves, mamíferos marinos, manglares, selva baja inundable. Zona de reproducción de tortugas y merostomados.
- Aspectos económicos: zona de poca pesca organizada en cooperativas y libres. Se explotan crustáceos y peces. Crianza de peces en la laguna Nichupté. Turismo de alto impacto, ecoturismo y buceo. Hay porcicultura en Puerto Morelos, Quintana Roo.
- -Uso de recursos: presión sobre peces (boquinete) y langostas. Pesca ilegal en la laguna Chakmochuk; campamentos irregulares en el área continental del Municipio de Isla Mujeres.

En relación a la problemática de la RMP No. 63, se destaca principalmente la:

- Modificación del entorno, debido a la tal de manglar, relleno de áreas inundables, remoción de pastos marinos, construcción sobre bocas, modificación de barreras naturales. Daño al ambiente por embarcaciones pesqueras, mercantes y turísticas. Existe deforestación (menor retención de agua) e impactos humanos (Cancún y otros desarrollos turísticos). Blanqueamiento de corales.
- La contaminación presente en la RMP No. 63, es generada por las descargas urbanas y falta de condiciones de salubridad.
- Uso de recursos: presión sobre peces (boquinete) y langostas. Pesca ilegal en la laguna Chakmochuk; campamentos irregulares en el área continental del Municipio de Isla Mujeres.
- Especies introducidas de *Cassuarina spp* y *Columbrina spp*.

En lo relativo a la conservación dentro de la RMP No. 63, misma en la que se ubican formaciones de arrecifes protegidos, como los arrecifes de Puerto Morelos, se recomienda dar impulso a su plan de manejo y a su bonificación. La laguna de Nichupté debería estar sujeta a normas de uso y protección.

En relación al sitio del proyecto materia del presente estudio, se tiene contemplado la importancia del área, así como los las especies que en el habitan o transitan, por



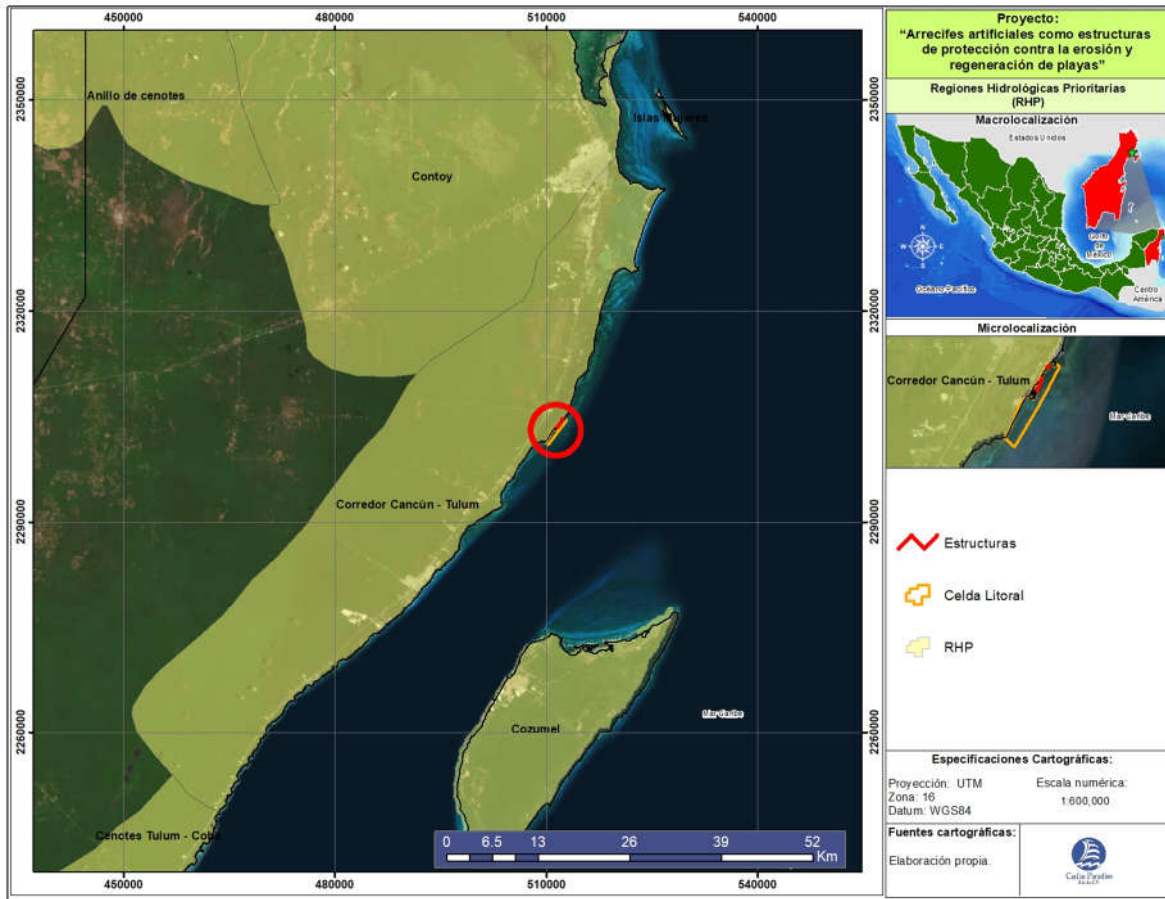
el mismo, por lo que conforme a la información obtenida de los estudios realizados en el sitio, se ha generado el Programa de Manejo Ambiental y sus subprogramas, para minimizar, prevenir o compensar cualquier afectación al momento de la realización del proyecto, destacándose, el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina y el Subprograma de Acciones Independientes, mismo que engloba actividades específicas que pudieran generar alguna alteración en el sitio del proyecto y que abarca la adecuada disposición de residuos, entre otras actividades más.

### III.3.4.3 Regiones Hidrológicas Prioritarias

El Programa de Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP) de la CONABIO está orientado a obtener un diagnóstico de las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país considerando las características de biodiversidad y los patrones sociales y económicos de las 110 áreas identificadas para establecer un marco de referencia que pueda ser considerado por los diferentes sectores para el desarrollo de planes de investigación, conservación uso y manejo sostenido.

Tal como se muestra en la figura siguiente, la superficie del proyecto del presente manifiesto, se ubica dentro de la RHP No. 105 denominada Corredor Cancún-Tulum.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 9.** Ubicación del proyecto y la RHP Corredor Cancún- Tulum, así como las RHP cercanas.

La RHP No. 105, tiene una extensión de 1,715 km<sup>2</sup>, el polígono se ubica en la latitud 21°10'48" - 20°20'24" N y longitud 87°28'12" - 86°44'24" W, los recursos hídricos principales son de dos tipos:

- Lénticos: lagunas de Chakmochuk y Nichupté, cenotes, estuarios, humedales.
- Lóticos: aguas subterráneas

Los suelos de la RHP No. 105, son de tipo Litosol, Rendzina y Zolonchak, se caracterizan por poseer una capa superficial abundante en humus y fértil, que descansa sobre roca caliza. El clima de la región cálido subhúmedo con lluvias en



verano, con temperaturas promedio anual 26-28 °C, con una precipitación anual de 1000-2000 mm.

La RHP en donde se encuentra el sitio del proyecto, se ubican los poblados de Cancún, Playa del Carmen, Puerto Morelos, Tulum, Akumal y Xel-ha, la principal actividad económica de la región es el turismo, la actividad forestal y pecuaria.

En relación a la biodiversidad del lugar, existen varios tipos de vegetación: selva mediana subperennifolia, selva baja perennifolia, selva baja inundable, manglar, sabana, palmar inundable y vegetación de dunas costeras. Diversidad de hábitats: estuarios, humedales, dunas costeras, caletas, cenotes y playas. Flora característica: *Acacia globulifera*, *tasiste Acoelorrhaphe wrightii*, *Annona glabra*, *Atriplex cristata*, *Bactris balanoidea*, *ramón Brosimum alicastrum*, *Bucida buceras*, *chaca Bursera simaruba*, *Caesalpinia gaumeri*, *Cameraria latifolia*, *Capparis flexuosa*, *C. incana*, *Coccoloba reflexiflora*, *C. uvifera*, *palma nakax Coccothrinax readii*, *Cordia sebestena*, *Crescentia cujete*, *Curatella americana*, *Cyperus planifolius*, *Dalbergia glabra*, *Eugenia lundellii*, *palo de tinte Haematoxylum campechianum*, *Hampea trilobata*, *Hyperbaena winzerlingii*, *Ipomoea violacea*, *chicozapote Manilkara zapota*, *chechén Metopium brownei*, *Pouteria campechiana*, *P. chiricana*, *palma Pseudophoenix sargentii*, *mangle rojo Rhizophora mangle*, *palma chit Trinax radiata*. La flora fitoplanctónica de los cenotes generalmente está dominada por diatomeas como *Amphora ovalis*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella turgida*, *Diploneis puella*, *Eunotia maior*, *E. monodon*, *Gomphonema angustatum*, *G. lanceolatum*, *Nitzschia scalaris*, *Synedra ulna* y *Terpsinoe musica*. Fauna característica: de crustáceos como el misidáceo *Antromysis (Antromysis) cenotensis*; el anfípodo *Tulumella unidens*; el palemónido *Creaseria morleyi*; los decápodos *Typhlatya mitchelli* y *T. pearsei*; los copépodos *Arctodiaptomus dorsalis*, *Eucyclops agilis*, *Macrocyclops albidus*, *Mastigodiaptomus texensis*, *Mesocyclops edax*, *Mesocyclops sp.*, *Schizopera tobae cubana*, *Thermocyclops inversus*, *Tropocyclops prasinus mexicanus*, *T. prasinus s.str.*; los ostrácodos *Candonocypris serratomarginata*, *Chlamydotheca mexicana*, *Cypridopsis niagrensis*, *C. rhomboidea*, *Cyprinotus putei*, *C. symmetricus*, *Darwinula stevensoni*, *Eucypris cisternina*, *E. serratomarginata*, *Herpetocypris meridiana*, *Metacypris americana*, *Stenocypris fontinalis*, *Strandesia intrepida*, *S. obtusata*; de peces como los cíclidos *Archocentrus octofasciatus*, *Cichlasoma friedrichsthalii*, *C. robertsoni*, *C. salvini*, *C.*



*synspilum*, *C. urophthalmus*, *Petenia splendida* y *Thorichthys meeki*; los poecílicos *Belonesox belizanus*, *Gambusia yucatanana*, *Heterandria bimaculata*, *Poecilia mexicana*, *P. orri* y *P. petenensis*; la anguila americana *Anguilla rostrata*, el carácido *Astyanax aeneus* y el bagre *Rhamdia guatemalensis*. Endemismos del isópodo *Bahalana mayana*; de los anfípodos *Bahadzia bozanici*, *Mayaweckelia cenotocola*, *Tuluweckelia cernua*; del ostrácodo *Danielopolina mexicana*; del remípedo *Speleonectes tulumensis*; del termosbenáceo *Tulumella unidens*, los cuales habitan en cenotes y cuevas; de los peces *Astyanax altior*, la brótula ciega *Ogilbia pearsei*, la anguila *Ophisternon infernale*, *Poecilia velifera*; de aves el pavo ocelado *Agriocharis ocellata*, el loro yucateco *Amazona xantholora*, que junto con el manatí *Trichechus manatus* se encuentran amenazados por lo reducido y aislado de sus hábitats, por la contaminación y navegación respectivamente. Zona de reproducción de tortugas caguama *Caretta caretta*, blanca *Chelonia mydas*, laúd *Dermodochelis coriacea* y el merostomado *Limulus polyphemus*. Todas estas especies amenazadas junto con los reptiles boa *Boa constrictor*, huico rayado *Cnemidophorus cozumela*, garrobo *Ctenosaura similis*, iguana verde *Iguana iguana*, casquito *Kinosternon scorpioides*, mojina *Rhinoclemmys areolata*, jicotea *Trachemys scripta*; las aves loro yucateco *Amazona xantholora*, garceta de alas azules *Anas discors*, carao *Aramus guarana*, aguililla cangrejera *Buteogallus anthracinus*, hocofaisán *Crax rubra*, el trepatroncos alileonado *Dendrocincla anabatina*, garzita alazana *Egretta rufescens*, halcón palomero *Falco columbarius*, el gavilán zancudo *Geranoospiza caerulescens*, el bolsero yucateco *Icterus auratus*, el bolsero cuculado *I. cucullatus*, zopilote rey *Sarcoramphus papa*, golondrina marina *Sterna antillarum*, *Strix nigrolineata* y los mamíferos mono aullador *Alouatta pigra*, mono araña *Ateles geoffroyi*, grisón *Galictis vittata* y oso hormiguero *Tamandua mexicana*.

En esta RHP, la problemática se debe principalmente por:

- Modificación del entorno: perturbación por complejos turísticos, obras de ingeniería para corredores turísticos, deforestación, modificación de la vegetación (tala de manglar) y de barreras naturales, relleno de áreas inundables y formación de canales.
- Contaminación: aguas residuales y desechos sólidos.
- Uso de recursos: pesca ilegal en la laguna de Chakmochuk y plantaciones de coco *Cocos nucifera tasiste*.



Para la conservación de la RHP No. 105 se necesita restaurar la vegetación, frenar la contaminación de acuíferos y dar tratamiento a las aguas residuales. Se desconoce la influencia de afloramientos de agua en la zona de la laguna de Nichupté. Están considerados Parques Nacionales Punta Cancún, Punta Nizuc y Tulum. El Parque Nacional Tulum está siendo afectado por la construcción urbana, el saqueo de material vegetal, la construcción de un tren turístico, la presencia de puestos comerciales de artesanías para los turistas y la gran cantidad de basura arrojada a las zonas de manglar y de selva mediana subperennifolia.

En lo que se refiere al proyecto materia del presente manifiesto y su vinculación con la RHP No. 105, dentro del Programa de Manejo Ambiental que se describe en el Capítulo VI y debido a la importancia de la región por la gran cantidad de biodiversidad y priorizando las problemáticas descritas debido a las obras e infraestructura que generan modificaciones al entorno, se incorporó el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, que tiene como objetivo la protección de las especies mediante un adecuado manejo y reubicación de individuos, que se puedan llegar a ser afectados por la realización del proyecto, así como acciones para llevar un control del arribo y anidación de las tortugas marinas que arriban al sitio.

Aunado a lo anterior y en relación con los residuos que se pueden generar al momento de la realización de las actividades del proyecto y contemplado la importancia de evitar cualquier afectación en el ecosistema marino, el Subprograma de Acciones Independientes, contempla medidas para evitar la contaminación por residuos sólidos, sedimentos o sustancias, así como el control de las estructuras que serán colocadas en el sitio del proyecto.

### III.4 Tratados y convenciones internacionales

En el orden jurídico mexicano, la definición de “Tratado” y su regulación se encuentran en la Ley sobre la Celebración de Tratados (LCT)<sup>34</sup>, cuyo artículo 2º, fracción I, establece que se entenderá por Tratado: el convenio regido por el derecho internacional público, celebrado por escrito entre el Gobierno de los

---

<sup>34</sup> Ley sobre la Celebración de Tratados, México, Diario Oficial de la Federación, 2 de enero de 1992.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Estados Unidos Mexicanos y uno o varios sujetos de Derecho Internacional Público, ya sea que para su aplicación requiera o no la celebración de acuerdos en materias específicas, cualquiera que sea su denominación, mediante el cual los Estados Unidos Mexicanos asumen compromisos.

Mientras que el fundamento de los tratados internacionales como fuente del derecho nacional se encuentra en el artículo 133 constitucional, que dispone:

“Esta Constitución, las leyes del Congreso de la Unión que emanen de ella y todos los Tratados que estén de acuerdo con la misma, celebrados y que se celebren por el presidente de la República, con aprobación del Senado, serán la Ley Suprema de toda la Unión. Los jueces de cada entidad federativa se arreglarán a dicha Constitución, leyes y tratados, a pesar de las disposiciones en contrario que pueda haber en las Constituciones o leyes de las entidades federativas.”<sup>35</sup>

Ahora bien, es importante advertir que, a partir de la reforma constitucional del 10 de junio de 2011, los tratados internacionales en materia de derecho ambiental adquieren una jerarquía al mismo nivel que la Constitución federal, pues el nuevo artículo primero<sup>36</sup> establece:

“En los Estados Unidos Mexicanos todas las personas gozarán de los derechos humanos reconocidos en esta Constitución y en los tratados internacionales de los que el Estado Mexicano sea parte, así como de las garantías para su protección, cuyo ejercicio no podrá restringirse ni suspenderse, salvo en los casos y bajo las condiciones que esta Constitución establece.

Las normas relativas a los derechos humanos se interpretarán de conformidad con esta Constitución y con los tratados internacionales de la materia favoreciendo en todo tiempo a las personas la protección más amplia.

---

<sup>35</sup> *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, México, Diario Oficial de la Federación, 5 de febrero de 1917. Últimas reformas 27 de agosto de 2018.

<sup>36</sup> *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, México, Diario Oficial de la Federación, 5 de febrero de 1917. Últimas reformas 27 de agosto de 2018.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Todas las autoridades, en el ámbito de sus competencias, tienen la obligación de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos de conformidad con los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad. En consecuencia, el Estado deberá prevenir, investigar, sancionar y reparar las violaciones a los derechos humanos, en los términos que establezca la ley.”

Este mandato da lugar a la conformación del bloque de constitucionalidad, lo que significa, en interpretación de la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN), que el ordenamiento jurídico mexicano tiene dos fuentes primigenias: a) los derechos fundamentales reconocidos en la Constitución federal; y, b) todos aquellos derechos humanos establecidos en tratados internacionales de los que el Estado mexicano sea parte. Consecuentemente, las normas provenientes de ambas fuentes constituyen un único conjunto normativo, sin jerarquías. Esto implica que los valores, principios y derechos que ellas materializan deben permear en todo el orden jurídico, obligando a todas las autoridades a su aplicación y, en aquellos casos en que sea procedente, a su interpretación.

De manera que la autoridad ambiental debe considerar en la evaluación del impacto ambiental los tratados internacionales que se vinculen con el proyecto, por lo que a continuación realizamos el detalle de los mismos.

### III. 4.1 Convenio sobre la Diversidad Biológica

La conservación de la diversidad biológica es interés común de toda la humanidad, por lo que el 5 de junio de 1992, en la Cumbre de la Tierra auspiciada por Naciones Unidas, celebrada en Río de Janeiro, fue adoptado el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), como un tratado internacional jurídicamente vinculante con tres objetivos principales: a) la conservación de la diversidad biológica, b) la utilización sostenible de sus componentes y, c) la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Su objetivo general es promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible.

De conformidad con el artículo 2 del CDB, se entiende por:



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- Diversidad biológica: la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.
- Ecosistema: se entiende un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.
- Recursos biológicos: recursos genéticos, los organismos o partes de ellos, las poblaciones, o cualquier otro tipo del componente biótico de los ecosistemas de valor o utilidad real o potencial para la humanidad.
- Utilización sostenible: la utilización de componentes de la diversidad biológica de un modo y a un ritmo que no ocasione la disminución a largo plazo de la diversidad biológica, con lo cual se mantienen las posibilidades de ésta de satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones actuales y futuras.

Este convenio es de gran relevancia para México, ya que es considerado un país “megadiverso”, ya que forma parte del selecto grupo de naciones poseedoras de la mayor cantidad y diversidad de especies de animales y plantas, casi el 70% de la diversidad mundial de especies. Nuestro país se ubica entre los primeros 12 países poseedoras de una gran biodiversidad, entre los que se encuentran: Colombia, Ecuador, Perú, México, Brasil, Congo, Madagascar, China, India, Malasia, Indonesia y Australia.

Dado que México ha firmado y ratificado el CDB está obligado con sus mandatos, por ello, procedemos a realizar en la siguiente tabla la vinculación del proyecto con las disposiciones correspondientes.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 27.** Vinculación jurídica de la Convención sobre Diversidad Biológica con el proyecto.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>Artículo 6. Medidas generales a los efectos de la conservación y la utilización sostenible.</p> <p>a) Elaborar estrategias, planes o programas nacionales para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica;</p> <p>b) Integrar, en la medida de lo posible y según proceda, la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica en los planes, programas y políticas sectoriales o intersectoriales.</p>	<p>Mediante el Programa de Manejo Ambiental en donde entre otros se incluye el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina, se establece el compromiso pleno del proyecto para conservar y evitar cualquier alteración al ecosistema marino.</p>
<p>Artículo 14. Evaluación del impacto y reducción al mínimo del impacto adverso</p> <p>a) Establecer procedimientos apropiados por los que se exija la evaluación del impacto ambiental de los proyectos que puedan tener efectos adversos importantes para la diversidad biológica con miras a evitar o reducir al mínimo esos efectos y, cuando proceda, permitirá la participación del público en esos procedimientos.</p> <p>b) Establecer arreglos apropiados para asegurarse de que se tengan debidamente en cuenta las consecuencias ambientales de sus programas y políticas que puedan tener efectos adversos importantes para la diversidad biológica.</p>	<p>Para la elaboración del presente manifiesto se realizaron, diversos estudios técnicos, como los relacionados con dinámica costera, modelación para la ubicación de los AA y aquellos los cuales tuvieron como finalidad identificar cualquier alteración de la flora y fauna por la realización del proyecto, derivando en medidas de prevención, mitigación y compensación, establecidas en el Programa de Manejo Ambiental. Con lo anterior se da cumplimiento cabal al presente numeral.</p>

### III. 4.2 Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas

Este instrumento internacional vinculante para el Estado mexicano, conocida también como Convención RAMSAR, fue adoptada en Irán el 2 de febrero de 1971 y entró en vigor en 1975. México se adhirió a ella en 1986. Este tratado internacional pretende dirigir a los países signantes hacia la conservación y uso racional de los humedales, reconociendo la importancia y el valor de dichos ecosistemas en términos de biodiversidad y servicios ambientales, entre otros.

Actualmente México cuenta con 142 sitios Ramsar con una superficie de 8,657,057 hectáreas. Dentro de la región administrativa ubicada en el estado de Quintana Roo, se encuentran 13 sitios RAMSAR:

- Laguna de Chichankanab, sitio RAMSAR No. 1364, cuenta con una superficie de 1,999 ha, fue designada el 2 de febrero de 2004. Conformada por cuerpos de agua dulce y manglar, además se encuentran, solo en esta ubicación, cinco peces endémicos y amenazados, comúnmente conocidos como "cachorritos", *Cyprinodon beltrani*, *C. labiosus*, *C. maya*, *C. simus* y *C. Verecundus*<sup>37</sup>.
- Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, sitio RAMSAR No. 1360, cuenta con una superficie de 154,052 ha, fue designada el 2 de febrero de 2004. Es considerado como un santuario de vida silvestre, la vegetación destacable es el manglar y los petenes.<sup>38</sup>
- Área de Protección de Flora y Fauna Otoch Ma´ax Yetel Kooh, sitio RAMSAR No. 1763, cuenta con una superficie de 5,367 ha, fue designada el 2 de febrero de 2008. Este sitio se encuentra localizado dentro del estado de Yucatán, pero la región administrativa es Quintana Roo. Conformada por un complejo de lagunas, depresiones amplias y cenotes, es conocido como uno de los principales 5 lugares para la conservación de los primates de la Península de Yucatán.<sup>39</sup>
- Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, sitio RAMSAR No. 1353, cuenta con una superficie de 144,360 ha, fue designada el 2 de febrero de 2004. Tiene cuatro tipos de hábitats: arrecifes de coral, praderas de fanerógamas

<sup>37</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1364>

<sup>38</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1360>

<sup>39</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1763>





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

marinas, zonas arenosas y manglares, al menos 15 especies de flora y fauna amenazadas están presentes en esta zona, a pesar de su pequeño tamaño. Dos especies de gran importancia económica también están presentes en la laguna: la langosta (*Panulirus argus*) y la Caracola Reina (*Strombus gigas*).<sup>40</sup>

- Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, sitio RAMSAR No. 1320, cuenta con una superficie de 17,949 ha, fue designado el 27 de noviembre de 2003. Comprende los arrecifes de coral, lagunas costeras, playas, manglares y acuíferos kárstico, en relación a las especies que habitan en la zona, se encuentran especies amenazadas y en peligro de extinción. Este sitio es de gran importancia para la anidación de aves marinas y para el desove de peces.<sup>41</sup>
- Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, sitio RAMSAR No. 1329, cuenta con una superficie de 652,193 ha, fue designada el 27 de noviembre de 2003. Es un área de protección de vida silvestre, el sitio se encuentra en una gran llanura cárstica a lo largo de un arrecife de barrera de 120 km de largo, dos bahías grandes y poco profundas rodeadas de manglares, así como numerosos sumideros o cenotes. En el habitan un gran número de especies de flora y fauna, incluyendo 320 especies de aves, 5 felinos neotropicales y especies en peligro de extinción.<sup>42</sup>
- Parque Nacional de Arrecifes de Cozumel, sitio RAMSAR No. 1449, cuenta con una superficie de 11,987 ha, fue designado el 2 de febrero de 2005. El sitio cubre la zona sur de arrecifes de la costa de la isla de Cozumel, es el hábitat de numerosas especies en peligro de extinción, como la tortuga boba (*Caretta caretta*), hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) y las tortugas verdes (*Chelonia mydas*), el pez ballesta de la reina (*Balistes vetula*) y el endémico Toadfish espléndido (*Sanopus Splendidus*).<sup>43</sup>
- Manglares y Humedales del Norte de Isla Cozumel, sitio RAMSAR No. 1921, cuenta con una superficie de 32,786 ha, fue designado el 2 de febrero de 2009. En el sitio se encuentran especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción, como *Caretta caretta*, *Ctenosaura similis*, *Chelonia*

<sup>40</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1353>

<sup>41</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1320>

<sup>42</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1329>

<sup>43</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1449>



*mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erecta*, entre otras más especies.<sup>44</sup>

- Santuario Nacional Playa tortuguera X'cacel- X'cacelito, sitio RAMSAR No. 1351, cuenta con una superficie de 362 ha, fue designada el 2 de febrero de 2004. Cuenta con el índice de cría más alto en el estado de Quintana Roo y en México para la tortuga verde (*Chelonia mydas*) y la tortuga boba (*Caretta caretta*), en relación a su vegetación se encuentran especies como la Palma de paja de Florida (*Thrinna radiata*) y manglares (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erecta*).<sup>45</sup>
- Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos, sitio RAMSAR No. 1343, cuenta con una superficie de 9,066 ha, fue designado el 2 de febrero de 2004. El sitio forma parte del Gran Arrecife Mesoamericano, el segundo arrecife de coral más grande del mundo. Dentro del parque hay presencia de manglares y playas de cría de tortuga.<sup>46</sup>
- Manglares de Nichupté, sitio RAMSAR No. 1777, cuenta con una superficie de 4,257 ha, fue designado el 2 de febrero de 2008. En el sitio se encuentran mangle (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*), en relación a la fauna, hay especies en protección especial como el *Crocodylus moreletii* y *Rana berlandieri*, *Ctenosaura similis* (amenazado) y *Chelonia mydas* (en extinción).<sup>47</sup>
- Parque Nacional Isla Contoy, sitio RAMSAR No. 1323, cuenta con una superficie de 5,126 ha, fue designado el 27 de noviembre de 2003. Es el principal sitio de anidación de aves en el Caribe mexicano. Las especies que anidan en la isla son principalmente tortuga verde, caguama, Carey y baula en peligro de extinción.<sup>48</sup>
- Reserva Estatal Bala'an K'aax, sitio RAMSAR No. 1332, cuenta con una superficie de 131,610 ha, fue designada el 2 de febrero de 2004. En el sitio habitan aproximadamente 601 especies de vertebrados, de los cuales 27% son amenazados, bajo protección especial o en peligro de extinción,

<sup>44</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1921>

<sup>45</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1351>

<sup>46</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1343>

<sup>47</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1777>

<sup>48</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1323>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

además de ser de gran importancia para el suministro de agua en la región y para los humedales costeros.<sup>49</sup>

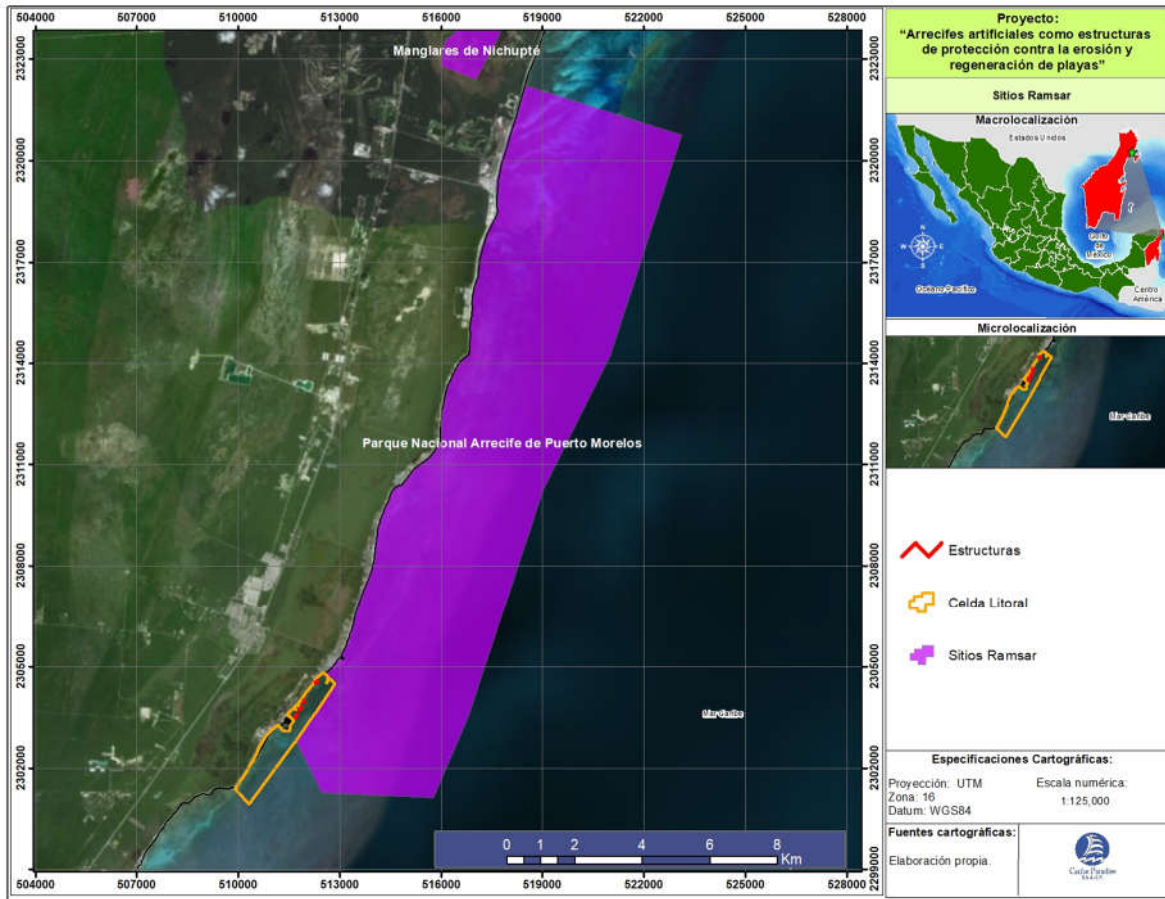
Derivado de lo anterior, el proyecto, se localiza cerca del Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos, tal como se muestra en el siguiente figura, derivado de la gran importancia que tiene este sitio a nivel mundial el promovente es consciente de las implicaciones que tendría la afectación del ecosistema marino de la zona, por la realización del proyecto, por lo que dentro de su Programa de Manejo Ambiental, prevé medidas como el Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina y el Subprograma de Acciones Independientes, que tiene como objetivo minimizar, prevenir o contemplar aquellos impactos negativos que pudieran generarse por la realización de proyecto, mediante procedimientos especializados, basados en el principio de protección.

---

<sup>49</sup> Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1332>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 10.** Ubicación del proyecto y el sitio RAMSAR Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos.

### III. 4.3 Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas

La Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIPCTM) tiene por objeto dentro de su artículo primero, el promover la protección, conservación y recuperación de las poblaciones de tortugas marinas y el hábitat del cual dependen, basándose en los datos científicos más fidedignos disponibles y considerando las características ambientales, socioeconómicas y culturales de las Partes.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

La CIPCTM entró en vigor en mayo de 2001 y cuenta en febrero de 2010 con trece Partes contratantes (Belice, Brasil, Costa Rica, Ecuador, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, México, Países Bajos, Panamá, Perú, Uruguay y Venezuela). En la tabla siguiente se detalla la vinculación del proyecto con sus disposiciones.

**Tabla 28.** Vinculación jurídica de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas con el proyecto.

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
Artículo IV MEDIDAS 2. Tales medidas comprenderán:	El proyecto tiene presente el compromiso de proteger a las tortugas marinas que puedan llegar al sitio del proyecto, a través de acciones establecidas para ello en el Programa de Manejo Ambiental, sin que se vean afectadas por la realización y operación del proyecto, así mismo, es importante indicar que el hotel al cual se encuentra asociado el proyecto, implementa en la actualidad un Programa de manejo de Tortuga, el cual seguirá llevándose a cabo e integrará aquellas medidas que no hayan sido consideradas y que están en el Programa de Manejo Ambiental propuesto en esta Manifestación de Impacto Ambiental presentada para el proyecto.
a. La prohibición de la captura, retención o muerte intencionales de las tortugas marinas, así como del comercio doméstico de las mismas, de sus huevos, partes o productos.	
b. El cumplimiento de las obligaciones establecidas en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) en lo relativo a tortugas marinas, sus huevos, partes o productos.	
c. En la medida de lo posible, la restricción de las actividades humanas que puedan afectar gravemente a las tortugas marinas, sobre todo durante los períodos de reproducción, incubación y migración.	
d. La protección, conservación y, según proceda, la restauración del hábitat y de los lugares de desove de las tortugas marinas, así como el establecimiento de las limitaciones que sean necesarias en cuanto a la utilización de esas zonas mediante, entre otras cosas, la designación de	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Precepto legal	Vinculación con el proyecto
<p>áreas protegidas, tal como está previsto en el Anexo II.</p>	
<p>e. El fomento de la investigación científica relacionada con las tortugas marinas, con sus hábitats y con otros aspectos pertinentes, que genere información fidedigna y útil para la adopción de las medidas referidas en este Artículo</p>	
<p>g. La promoción de la educación ambiental y la difusión de información, con miras a estimular la participación de las instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y del público en general en cada Estado, en particular de las comunidades involucradas en la protección, conservación y recuperación de las poblaciones de tortugas marinas y de sus hábitats.</p>	

### III.4.4 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático

El cambio climático, entendido como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables, constituye una amenaza para los ecosistemas y el desarrollo de las actividades económicas, como el turismo.<sup>50</sup>

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) determinó que la vulnerabilidad es una función de la exposición del sistema, que depende también de la sensibilidad y de la capacidad adaptativa del sistema, según la fórmula:

<sup>50</sup> Peña Jiménez, Arturo y Neyra González, Lucila, Amenazas a la biodiversidad. En CONABIO. *La diversidad biológica de México. Estudio de País*, México, Comisión Nacional para la Conservación y el Uso de la Biodiversidad, 1998.





Vulnerabilidad = f (Exposición, Sensibilidad, Capacidad Adaptativa).<sup>51</sup>

En consecuencia, la vulnerabilidad del turismo se determina a partir de la exposición del sector a ciertas condiciones climáticas (temperaturas extremas, sequía, fenómenos hidrometeorológicos, etc.); así como del análisis sobre los límites de tolerancia del sector los cuales pueden verse ampliarse o disminuirse en función de las capacidades de adaptación desarrolladas.

En referencia al turismo costero, los países que recibirán mayor impacto serán los que poseen una relativamente alta contribución de las actividades del sector al PIB, que a su vez están amenazados por tormentas de viento e incrementos del nivel del mar como es el caso de México.<sup>52</sup>

En cuanto a la capacidad de adaptación al cambio climático, es importante advertir que ésta puede variar en los diversos componentes del sector turístico (prestadores de servicios, proveedores de servicios turísticos, comunidades receptoras y turistas). Ello obedece a que la capacidad adaptativa, en general, depende de tres elementos clave: recursos económicos, acceso a la información y tiempo.<sup>53</sup>

Por tanto, resulta indispensable la comprensión sobre la necesidad de reconducir al sector turístico en la identificación de su vulnerabilidad, a efecto de involucrarle en procesos de adaptación climática apuntalados en instrumentos de carácter preventivo, considerados clave para la gestión integral de riesgos, lo cual es un imperativo para lograr el desarrollo sustentable local en un marco de

---

<sup>51</sup> Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, *Cambio climático 2007. Informe de Síntesis*. En Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Dirs.). Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2007.

<sup>52</sup> Nagy, J. G., et al., *Adaptive Capacity for Responding to Climate Variability and Change in Estuarine Fisheries of the Rio de la Plata*, Working Paper No. 36, Washington, D. C., Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change, 2006.

<sup>53</sup> Gössling, S. y Hall, C. M., *An introduction to tourism and global environmental change*. En Gössling, S. y Hall, C. M. (Eds.). *Tourism and global environmental change. Ecological, social and political interrelationships*, London, Routledge, 2006.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

corresponsabilidad que considere la participación tanto de los prestadores de servicios turísticos, como de la población receptora y las autoridades municipales.

Bajo este contexto, en el marco de las responsabilidades comunes pero diferenciadas, se adoptó en la Conferencia de Río de 1992, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyo artículo segundo, establece como uno de los compromisos de las Partes firmantes, es cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático; desarrollar y elaborar planes apropiados e integrados para la ordenación de las zonas costeras, los recursos hídricos y la agricultura, y para la protección y rehabilitación de las zonas afectadas por la sequía y la desertificación, así como por las inundaciones.

De acuerdo con estudios recientes, muchos gobiernos y empresas de turismo se enfocan en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en concordancia con las reducciones requeridas en otros sectores. No obstante, la transformación hacia un sector turístico bajo en carbono requiere inversiones en tecnología, un enfoque empresarial direccionado a la reducción de GEI, así como cambios conductuales por parte de los turistas.<sup>54</sup>

En la siguiente tabla se realiza la vinculación jurídica con las disposiciones aplicables de la CMNUCC y el proyecto objeto del presente manifiesto:

**Tabla 29.** Vinculación jurídica de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático con el proyecto.

Disposición legal	Vinculación con el proyecto
Artículo 1. Todas las Partes, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y el carácter específico de sus prioridades nacionales y regionales de desarrollo, de sus objetivos y de sus circunstancias, deberán:	
e) Cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático; desarrollar y elaborar planes apropiados e integrados para la	El proyecto tiene como finalidad evitar la erosión costera causada por actividades antrópicas así como por fenómenos meteorológicos, que han

<sup>54</sup> Organization for Economic Co-operation and Development-United Nations Environment Programme, *Climate Change and Tourism Policy in OECD Countries, 2013*. Disponible en: <http://www.oecd.org/cfe/tourism/48681944.pdf>.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Disposición legal	Vinculación con el proyecto
ordenación de las zonas costeras, los recursos hídricos y la agricultura, y para la protección y rehabilitación de las zonas, particularmente de África, afectadas por la sequía y la desertificación, así como por las inundaciones.	aumentado su intensidad y frecuencia a causa del cambio climático.
f) Tener en cuenta, en la medida de lo posible, las consideraciones relativas al cambio climático en sus políticas y medidas sociales, económicas y ambientales pertinentes y emplear métodos apropiados, por ejemplo evaluaciones del impacto, formulados y determinados a nivel nacional, con miras a reducir al mínimo los efectos adversos en la economía, la salud pública y la calidad del medio ambiente, de los proyectos o medidas emprendidos por las Partes para mitigar el cambio climático o adaptarse a él.	Por parte de la LGCC, considera la rehabilitación de playas como una medida de adaptación, finalidad principal del proyecto materia del presente manifiesto.

### III.5 Conclusiones

Derivado de los análisis y observaciones realizadas en el área de la playa afectada, se identificó la erosión de la línea de costa, como consecuencia natural y antrópica, una de estas causas, son la presencia de los espigones en el sitio del proyecto, mismos que no protegen la playa y no permiten el transporte de sedimentos, por lo que es necesario la sustitución de estos por una propuesta que permita la circulación del agua, además la colocación de los AA, con la finalidad de evitar la erosión costera, así como la preservación de la riqueza natural del lugar, a través de la rehabilitación de la playa, manteniendo el interés del turismo nacional y extranjero, por la región, así como la protección de las especies que se encuentran.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Aunado a lo anterior el proyecto, se ubica en una de las regiones de mayor relevancia tanto para el sector turístico nacional, como para la preservación de los elementos naturales, por su vulnerabilidad.

Dentro del marco normativo se distingue la importancia de la protección de los recursos naturales, así como un desarrollo sostenible, que permita al país ser competitivo y reconocido por su turismo. De igual forma la normativa determina el interés de evitar afectaciones de los recursos naturales en la realización de proyectos o bien establecer medidas de mitigación o compensación, así como la importancia de preservar especies en estado crítico, mismas que deberán ser atendidas y protegidas con medidas específicas.

En relación a los efectos del cambio climático, se distingue en el cuerpo normativo, la necesidad de reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas, así como de realizar medidas de adaptación, para contrarrestar los impactos negativos sobre el ambiente.

A nivel estatal, el estado de Quintana Roo, cuenta con instrumentos normativos que buscan un desarrollo sostenible, mediante al aprovechamiento mesurado de los recursos y previendo metas a futuro, relacionadas con contrarrestar los efectos del cambio climático. Asimismo, el reconocimiento de la gran variedad de especies de flora y fauna que habitan en el territorio del estado y su gran relevancia a nivel nacional e internacional, basados en el compromiso de su protección.

Conforme a lo anterior, el presente capítulo identifica de manera precisa los preceptos normativos que le son aplicables a la realización y operación del proyecto, con la intención de evitar que se generen afectaciones que pudieran causar desequilibrio ecológico. Existiendo una compatibilidad de los instrumentos citados con las actividades para la operación y desarrollo del proyecto, regidas por un Programa de Manejo Ambiental, enfocado en la protección del ecosistema marino.

# CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL (SAR) Y  
SEÑALAMIENTO DE TENDENCIAS DEL DESARROLLO Y DETERIORO  
DE LA REGIÓN



**INDICE**

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO. INVENTARIO AMBIENTAL ..... 11

IV.1 Delimitación del área de estudio ..... 11

IV.2 Caracterización y análisis del sistema ambiental regional (SAR) ..... 14

IV.2.1 Aspectos abióticos..... 22

IV.2.1.1 Clima..... 22

IV.2.1.2 Geología..... 38

IV.2.1.3 Geomorfología ..... 39

IV.2.1.3.1 Relieve marino ..... 41

IV.2.1.3.2 Fallas y fracturamientos..... 45

IV.2.1.3.3 Susceptibilidad de la zona a sismicidad ..... 47

IV.2.1.3.4 Susceptibilidad de la zona por tsunamis ..... 50

IV.2.1.3.5 Amenaza por inundaciones ..... 51

IV.2.1.3.6 Riesgo por erosión..... 52

IV.2.1.4 Hidrología ..... 67

IV.2.1.4.1 Hidrología superficial..... 67

IV.2.1.4.2 Hidrología subterránea..... 69

IV.2.1.4.3 Hidrología marina ..... 70

IV.2.1.4.3.1 Batimetría..... 71

IV.2.1.4.3.2 Viento..... 73

IV.2.1.4.3.3 Oleaje ..... 76



IV.2.1.4.3.4 Corrientes .....	84
IV.2.1.4.3.5 Mareas .....	97
IV.2.1.4.3.6 Sedimentos .....	98
IV.2.2 Caracterización biológica del Área de Estudio .....	105
IV.2.2.1 Introducción .....	105
IV.2.2.2 Objetivos.....	109
IV.2.2.3 Metodología.....	110
IV.2.2.3.1 Área de Estudio .....	110
IV.2.2.3.2 Biota marina potencial en el Sistema Ambiental Regional.....	111
IV.2.2.3.3 Caracterización de la biota marina a través de muestreo en campo. .	135
IV.2.2.3.4 Tipos de ambientes en el Área de Estudio .....	135
IV.2.2.3.4.1 Muestreo de tipos de ambientes .....	137
IV.2.2.3.4.2 Muestreo de la biota marina en el Sistema Ambiental Regional .....	138
IV.2.2.3.4.3 Muestreo en áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales .....	144
IV.2.2.3.4.4 Muestreo en bancos de arena .....	148
IV.2.2.3.4.5 Análisis de datos.....	151
IV.2.2.3.4.5.1 Abundancia .....	152
IV.2.2.3.4.5.2 Diversidad .....	153
IV.2.2.3.4.5.3 Formas de crecimiento .....	154
IV.2.2.3.4.5.4 Estructura de tallas .....	155
IV.2.2.3.4.5.5 Condiciones del organismo.....	155
IV.2.2.3.4.5.6 Grupos funcionales .....	156

IV.2.2.4 Resultados .....	157
IV.2.2.4.1 Descripción general del Área de Estudio .....	157
IV.2.2.4.2 Tipos de ambientes en el Área de Estudio .....	157
IV.2.2.4.2.1 Arenal somero (A/s) .....	162
IV.2.2.4.2.2 Laja con algas (L/a) .....	164
IV.2.2.4.2.3 Laja con algas y gorgonáceos (L/a+g) .....	166
IV.2.2.4.2.4 Laja con sedimentos (L/s) .....	169
IV.2.2.4.2.5 Laja con sedimentos y algas (L/s+a) .....	171
IV.2.2.4.2.6 Pastizal mixto (Pmix) .....	174
IV.2.2.4.2.7 Rocas con algas (R/a) .....	177
IV.2.2.4.3 Caracterización biológica en el Sistema Ambiental Regional.....	178
IV.2.2.4.3.1 Escleractinios (corales duros) .....	179
IV.2.2.4.3.1.1 Distribución y composición de especies .....	179
IV.2.2.4.3.1.2 Abundancia y riqueza específica.....	181
IV.2.2.4.3.1.3 Diversidad y equitabilidad .....	182
IV.2.2.4.3.1.4 Estructura de tallas .....	184
IV.2.2.4.3.1.5 Formas de crecimiento .....	186
IV.2.2.4.3.1.6 Comparación entre las dos épocas del año .....	188
IV.2.2.4.3.2 Gorgonáceos (corales blandos) .....	189
IV.2.2.4.3.2.1 Distribución y composición de especies .....	189
IV.2.2.4.3.2.2 Abundancia y riqueza específica.....	191
IV.2.2.4.3.2.3 Diversidad y equitabilidad .....	192
IV.2.2.4.3.2.4 Estructura de tallas .....	194

IV.2.2.4.3.2.5 Condiciones del organismo.....	196
IV.2.2.4.3.2.6 Comparación entre las dos épocas del año .....	198
IV.2.2.4.3.3 Ictiofauna (peces arrecifales) .....	199
IV.2.2.4.3.3.1 Distribución y composición de especies .....	199
IV.2.2.4.3.3.2 Abundancia y riqueza específica.....	203
IV.2.2.4.3.3.3 Diversidad y equitabilidad .....	204
IV.2.2.4.3.3.4 Estructura de tallas .....	206
IV.2.2.4.3.3.5 Grupos funcionales .....	208
IV.2.2.4.3.3.6 Comparación entre las dos épocas del año .....	210
IV.2.2.4.3.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos) .....	211
IV.2.2.4.3.4.1 Distribución y composición de especies .....	211
IV.2.2.4.3.4.2 Abundancia y riqueza específica.....	215
IV.2.2.4.3.4.3 Diversidad y equitabilidad .....	219
IV.2.2.4.3.4.4 Grupos funcionales .....	221
IV.2.2.4.3.4.5 Comparación entre las dos épocas del año .....	223
IV.2.2.4.3.5 Invertebrados.....	224
IV.2.2.4.3.5.1 Distribución y composición de especies .....	224
IV.2.2.4.4 Caracterización biológica en las áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales .....	227
IV.2.2.4.4.1 Temporada de lluvias (11 de agosto) .....	227
IV.2.2.4.4.1 Escleractinios (corales duros) .....	235
IV.2.2.4.4.1.1 Distribución y composición de especies .....	235
IV.2.2.4.4.1.2 Abundancia y riqueza específica.....	236

IV.2.2.4.4.1.3 Diversidad y equitabilidad .....	237
IV.2.2.4.4.1.4 Estructura de tallas .....	238
IV.2.2.4.4.1.5 Formas de crecimiento .....	239
IV.2.2.4.4.2 Gorgonáceos (corales blandos) .....	240
IV.2.2.4.4.2.1 Distribución y composición de especies .....	240
IV.2.2.4.4.2.2 Abundancia y riqueza específica.....	242
IV.2.2.4.4.2.3 Diversidad y equitabilidad .....	242
IV.2.2.4.4.2.4 Estructura de tallas .....	243
IV.2.2.4.4.2.5 Condiciones del organismo.....	244
IV.2.2.4.4.3 Ictiofauna (peces arrecifales) .....	245
IV.2.2.4.4.3.1 Distribución y composición de especies .....	245
IV.2.2.4.4.3.2 Abundancia y riqueza específica.....	247
IV.2.2.4.4.3.3 Diversidad y equitabilidad .....	247
IV.2.2.4.4.3.4 Estructura de tallas .....	248
IV.2.2.4.4.3.5 Grupos funcionales .....	249
IV.2.2.4.4.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos) .....	250
IV.2.2.4.4.4.1 Distribución y composición de especies .....	250
IV.2.2.4.4.4.2 Abundancia y riqueza específica.....	252
IV.2.2.4.4.4.3 Diversidad y equitabilidad .....	253
IV.2.2.4.4.4.4 Grupos funcionales .....	254
IV.2.2.4.4.5 Invertebrados.....	255
IV.2.2.4.4.5.1 Distribución y composición de especies .....	255
IV.2.2.4.4.2 Temporada de secas (18 de enero y 9 de febrero de 2019) .....	257

IV.2.2.4.4.2.1 Escleractinios (corales duros) .....	262
IV.2.2.4.4.2.1.1 Distribución y composición de especies.....	262
IV.2.2.4.4.2.1.2 Abundancia y riqueza específica .....	264
IV.2.2.4.4.2.1.3 Diversidad y Equitabilidad .....	265
IV.2.2.4.4.2.1.4 Estructura de tallas.....	266
IV.2.2.4.4.2.1.5 Formas de crecimiento.....	267
IV.2.2.4.4.2.1.6 Condición del organismo .....	268
IV.2.2.4.4.2.2 Gorgonáceos (corales blandos) .....	269
IV.2.2.4.4.2.2.1 Distribución y composición de especies.....	269
IV.2.2.4.4.2.2.2 Abundancia y riqueza específica .....	270
IV.2.2.4.4.2.2.3 Diversidad y Equitabilidad .....	271
IV.2.2.4.4.2.2.4 Estructura de tallas.....	272
IV.2.2.4.4.2.2.5 Condiciones del organismo .....	273
IV.2.2.4.4.2.3 Ictiofauna (peces arrecifales) .....	275
IV.2.2.4.4.2.3.1 Distribución y composición de especies.....	275
IV.2.2.4.4.2.3.2 Abundancia y riqueza específica .....	276
IV.2.2.4.4.2.3.3 Diversidad y Equitabilidad .....	277
IV.2.2.4.4.2.3.4 Estructura de tallas.....	278
IV.2.2.4.4.2.3.5 Grupos funcionales .....	279
IV.2.2.4.4.2.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos) .....	280
IV.2.2.4.4.2.4.1 Distribución y composición de especies.....	280
IV.2.2.4.4.2.4.2 Abundancia y riqueza específica .....	282
IV.2.2.4.4.2.4.3 Diversidad y Equitabilidad .....	283

---

IV.2.2.4.4.2.4.4 Grupos funcionales .....	283
IV.2.2.4.4.2.5 Invertebrados .....	285
IV.2.2.4.4.2.5.1 Distribución y composición de especies.....	285
IV.2.2.4.5 Caracterización biológica en los bancos de arena .....	286
IV.2.2.4.5.1 Escleractinios (corales duros) .....	292
IV.2.2.4.5.1.1 Distribución y composición de especies.....	292
IV.2.2.4.5.1.2 Abundancia y riqueza específica.....	293
IV.2.2.4.5.1.3 Diversidad y equitabilidad .....	293
IV.2.2.4.5.1.4 Estructura de tallas .....	293
IV.2.2.4.5.1.5 Formas de crecimiento .....	294
IV.2.2.4.5.2 Gorgonáceos (corales blandos) .....	295
IV.2.2.4.5.2.1 Distribución y composición de especies .....	295
IV.2.2.4.5.2.2 Abundancia y riqueza específica.....	296
IV.2.2.4.5.2.3 Diversidad y equitabilidad .....	297
IV.2.2.4.5.2.4 Estructura de tallas .....	298
IV.2.2.4.5.2.5 Condiciones del organismo.....	299
IV.2.2.4.5.3 Ictiofauna (peces arrecifales) .....	300
IV.2.2.4.5.3.1 Distribución y composición de especies .....	300
IV.2.2.4.5.3.2 Abundancia y riqueza específica.....	301
IV.2.2.4.5.3.3 Diversidad y equitabilidad .....	302
IV.2.2.4.5.3.4 Estructura de tallas .....	303
IV.2.2.4.5.3.5 Grupos funcionales .....	304
IV.2.2.4.5.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos) .....	305

IV.2.2.4.5.4.1 Distribución y composición de especies .....	305
IV.2.2.4.5.4.2 Abundancia y riqueza específica.....	307
IV.2.2.4.5.4.3 Diversidad y equitabilidad .....	307
IV.2.2.4.5.4.4 Grupos funcionales .....	308
IV.2.2.4.5.5 Invertebrados.....	309
IV.2.2.4.5.5.1 Distribución y composición de especies .....	309
IV.2.2.5 Especies de interés particular .....	310
IV.2.2.6. Análisis General de la caracterización biológica en el Sistema Ambiental Regional. ....	311
IV.2.2.6.1 Caracterización biológica general en el SAR.....	312
IV.2.2.6.1.1 Escleractinios (corales duros) .....	312
IV.2.2.6.1.1.2 Estructura de tallas .....	313
IV.2.2.6.1.1.3 Formas de crecimiento .....	314
IV.2.2.6.1.2 Gorgonáceos (Corales blandos).....	315
IV.2.2.6.1.2.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos. ....	315
IV.2.2.6.1.2.2 Estructura de tallas.....	317
IV.2.2.6.1.2.3 Condición del organismo.....	317
IV.2.2.6.1.3 Ictiofauna (peces arrecifales) .....	318
IV.2.2.6.1.3.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos. ....	318
IV.2.2.6.1.3.2 Estructura de tallas.....	321
IV.2.2.6.1.3.3 Grupos funcionales.....	321
IV.2.2.6.1.4 Vegetación marina (Macroalgas y Pastos marinos) .....	322
IV.2.2.6.1.4.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos. ....	322



IV.2.2.6.1.4.2 Grupos funcionales.....	325
IV.2.2.6.1.5 Otros invertebrados.....	326
IV.2.2.6.1.5.1 Riqueza y composición de especies.....	326
IV.2.2.6.2 Caracterización biológica general del área programada para instalación de las estructuras de protección costera.....	328
IV.2.2.6.2.1 Corales duros (escleractinios) .....	328
IV.2.2.6.2.1.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos. ....	328
IV.2.2.6.2.1.2 Estructura de tallas.....	329
IV.2.2.6.2.1.3 Formas de crecimiento.....	330
IV.2.2.6.2.2 Gorgonáceos. ....	331
IV.2.2.6.2.2.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos. ....	331
IV.2.2.6.2.2.2 Estructura de talla. ....	333
IV.2.2.6.2.2.3 Condición del organismo.....	334
IV.2.2.6.2.3 Ictiofauna.....	334
IV.2.2.6.2.3.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos. ....	334
IV.2.2.6.2.3.2 Estructura de tallas.....	336
IV.2.2.6.2.3.3 Grupos funcionales .....	337
IV.2.2.6.2.4 Vegetación marina.....	338
IV.2.2.6.2.4.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos. ....	338
IV.2.2.6.2.4.2 Grupos funcionales .....	341
IV.2.2.6.2.5 Otros Invertebrados.....	342
IV.2.2.6.2.5.1 Riqueza, composición y distribución de especies en el área de pretendida ubicación de las estructuras de protección costera.....	342

IV.2.2.7 Biota marina potencial y biota registrada a través del muestreo en campo en el SAR. ....	344
IV.2.2.8 Discusión .....	368
IV.2.2.9 Conclusión .....	374
IV.2.3 Caracterización biológica adyacente al Área de Estudio.....	375
IV.2.4 Paisaje.....	385
IV.2.5 Medio socioeconómico .....	390
IV.2.5.1 Demografía.....	390
IV.2.5.2 Factores socioculturales .....	396
IV.2.6 Diagnóstico ambiental .....	397
IV.2.6.1 Integración e interpretación del inventario ambiental .....	398
IV.3 Referencias.....	407

## IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO. INVENTARIO AMBIENTAL

### IV.1 Delimitación del área de estudio

El proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, se localiza en la Unidad 15, El Cid, C.P. 77580, municipio de Puerto Morelos al noroeste del estado de Quintana Roo, en el corredor turístico Cancún-Tulum, mejor conocido como La Riviera Maya. El Área de Estudio se localiza a 26 km de Cancún, a 27 km de Playa del Carmen y a 2.2 km de la carretera Cancún-Tulum (Carretera Federal 307).

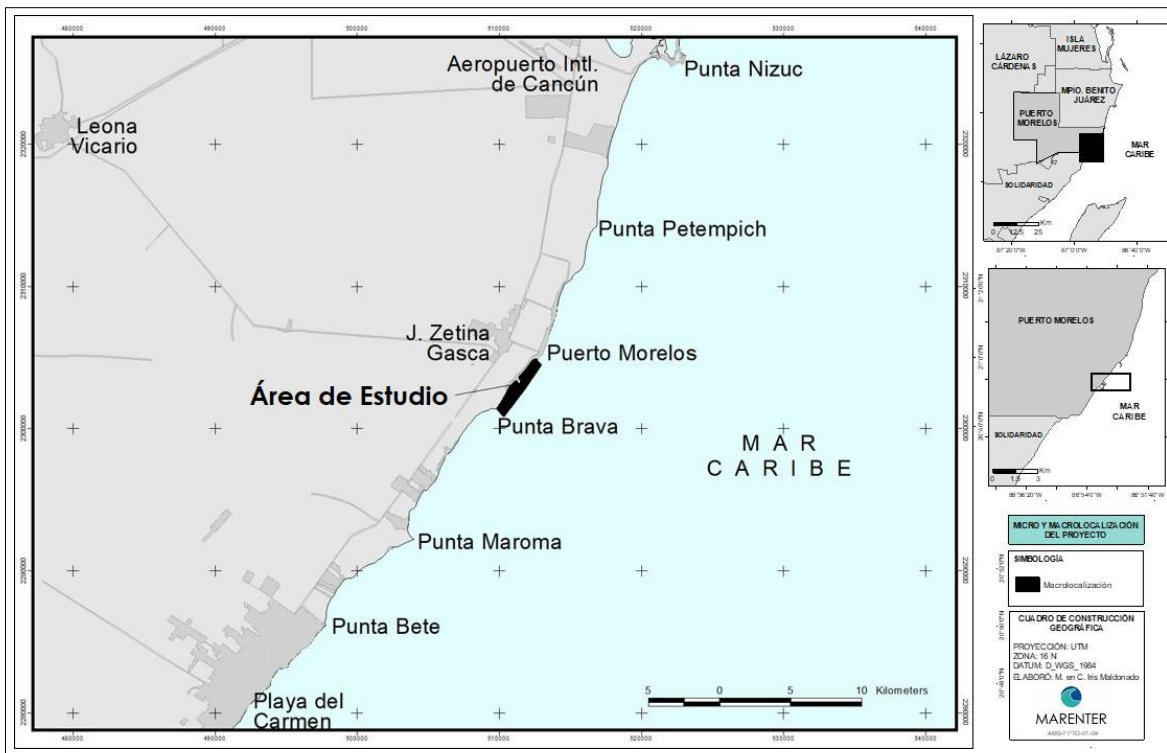


Figura 1. Localización del área del proyecto.

Como se describió detalladamente en el **Capítulo II** de la presente Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional (**MIA-R**), el proyecto tiene como **primer objetivo**, la construcción de **cuatro arrecifes artificiales** o **estructuras de protección costera** (Anexo II.3) en la zona marina. Con estos arrecifes artificiales se espera

reducir la llegada de sedimento a la región del Muelle Fiscal, en el límite norte, favoreciendo así las operaciones de entrada y salida de embarcaciones, además de proteger a la playa por su función como dissipador de la energía del oleaje al incidir sobre la misma (Anexo II.1).

Las dimensiones y profundidad de los cuatro rompeolas que se proponen instalar están incluidas en la tabla siguiente.

**Tabla 1.** Parámetros de diseño en planta de las estructuras de protección.

Estructura	Profundidad de los extremos en el eje de la estructura (m)	Distancia desde la costa al eje de la estructura (m)	Longitud (m)
<b>E1</b>	1.5	53	70 (tramo paralelo a costa)
	0 – 1.5	-	50 (tramo perpendicular a costa)
<b>E2</b>	1.8	101	70
<b>E3</b>	1.7 - 2.2	110	90
<b>E4</b>	3.1 – 3.9	176 (centro de eje) Mínima y máxima (152 – 202)	120

La ubicación de las estructuras fue analizada en varias ocasiones hasta obtener las siguientes coordenadas definitivas de localización. Las coordenadas de los puntos extremos de las estructuras se incluyen en la tabla siguiente.

**Tabla 2.** Coordenadas de ubicación de las estructuras de protección.

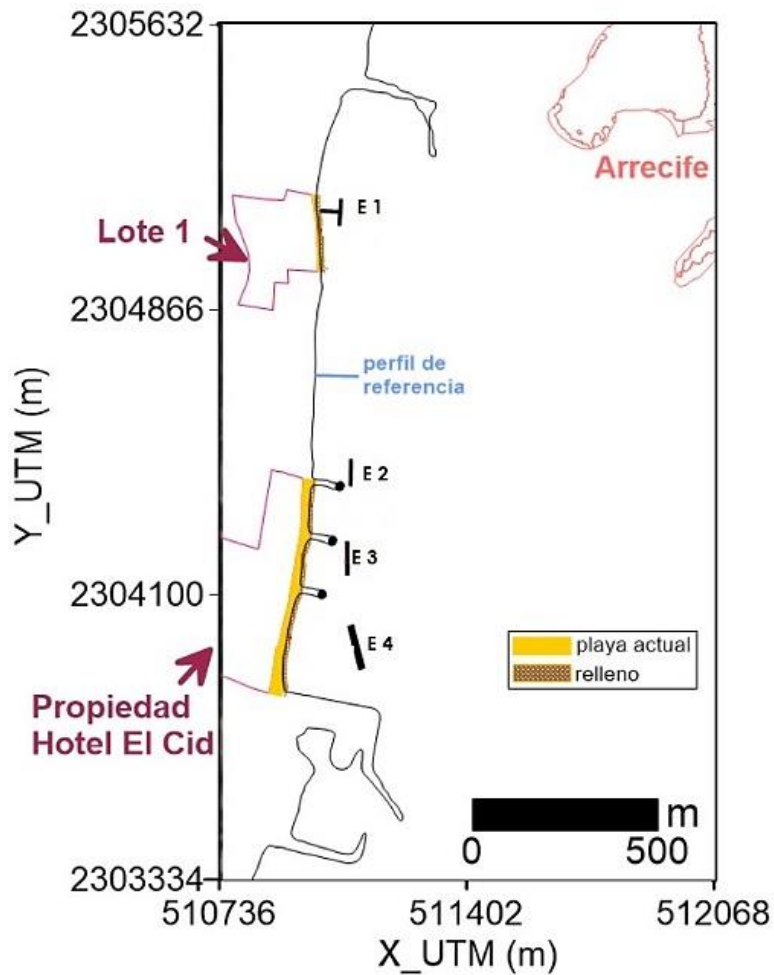
Estructuras	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
<b>E1</b>	1	512342.82	2304565.52
	2	512348.23	2304561.25
	3	512304.91	2304506.26
	4	512299.49	2304510.53
	5	512323.29	2304540.73
	6	512319.01	2304535.31
	7	512279.74	2304566.26

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Estructuras	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
	8	512284.01	2304571.68
E2	1	511962.46	2303977.23
	2	511968.87	2303972.61
	3	511927.96	2303915.81
	4	511921.55	2303920.43
E3	1	511826.82	2303803.21
	2	511834.48	2303797.94
	3	511783.39	2303723.84
	4	511775.73	2303729.12
E4	1	511696.68	2303614.6
	2	511712.05	2303608.9
	3	511670.23	2303496.4
	4	511654.87	2303502.1

El **segundo objetivo** del presente estudio de impacto ambiental, es la **sustitución de los espigones rígidos por andadores piloteados de madera** que permitan el paso tanto del agua, como de los sedimentos en la zona marina.

Mientras que el **tercer objetivo** es, la **regeneración del ancho de playa seca a 10 m** (relleno de playa; Anexo II.2) frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, como se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 2.** Ubicación de los arrecifes artificiales, así como las áreas de rehabilitación de playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales.

#### **IV.2 Caracterización y análisis del sistema ambiental regional (SAR)**

La delimitación y caracterización del Sistema Ambiental Regional (SAR) es esencial en la elaboración de una Manifestación de Impacto Ambiental, ya que uno de sus principales propósitos es contar con una unidad de referencia espacial para evaluar de manera objetiva el impacto ambiental del proyecto que se pretende llevar a cabo.

Como se había mencionado en los anteriores capítulos, el objetivo de este proyecto es instalar arrecifes artificiales en la zona marina, así como rellenar con arena la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales. De tal forma que,

la **delimitación del Sistema Ambiental Regional**, se desarrolló **bajo el criterio de celda litoral**, definida como unidades básicas en las que se divide el litoral (Anfuso 2004, Guido *et al.* 2009).

Las celdas litorales se originan por la interacción entre el oleaje incidente y las estructuras naturales (e.g., puntas, cañones submarinos, bahías, estuarios, cabos o puntas, desembocaduras de ríos) o antrópicas (e.g., muelles, espigones). Existen celdas litorales de dos tipos, las que ocurren en: 1) costas irregulares y 2) costas abiertas. Las **celdas litorales** que ocurren en **costas irregulares**, están definidas por límites de tipo fijo como estructuras naturales o antrópicas; también son conocidas por celdas morfológicas. Mientras que las **celdas litorales** que ocurren en **costas abiertas**, están definidas por procesos de refracción del oleaje, o generación de ondas de bordes, entre otros, cuya existencia está condicionada por la morfología de la playa submarina; los límites de este tipo de celdas son de tipo libre, es decir, varían su posición en función de las características del oleaje incidente (Anfuso 2004, Silva *et al.* 2017).

Los sedimentos se mueven dentro de cada celda o pasan de una celda a otra, en función de la dirección de aproximación del oleaje y de las características de los límites entre ellas (Anfuso 2004). Los sedimentos (como indicador se tiene al tipo de material que conforma la costa) que se mueven dentro de cada celda litoral, forman zonas homogéneas de circulación de los mismos, conocidas con el nombre de compartimientos. De tal forma que una celda litoral puede estar dividida por varios compartimientos (Silva *et al.* 2017).

Asimismo, de acuerdo con Silva *et al.* (2017), a lo largo de la línea de costa (longitudinal), se pueden diferenciar las siguientes celdas litorales sujetas a una jerarquía de escalas espaciales o temporales:

- Micro celdas que van de 0 a 1 km (escala espacial) o de 0 a 1 año (escala temporal), con cambios oscilantes a baja escala.
- Meso celdas de 1 a 10 km (escala espacial) o de 1 a 10 años (escala temporal) con cambios periódicos a meso escala determinados por el comportamiento de la configuración morfológica o por un nuevo equilibrio en la línea costera.
- Macro celda de 10 a 100 km (escala espacial) o 10 a 100 años en escala temporal, con cambios lentos de gran escala ocasionados por fenómenos



naturales. Asimismo, pueden ocurrir cambios a gran escala por la presencia de arrecifes artificiales que propician un nuevo equilibrio.

Finalmente, gracias a la delimitación de una celda litoral, es posible estudiar los procesos del transporte de sedimentos en forma aislada (Guido *et al.* 2009).

En vista de que el área del proyecto se encuentra en una costa irregular, el Sistema Ambiental Regional del proyecto, con apoyo del programa de Sistema de Información Geográfica Arc Gis, se estableció con un polígono marino o celda litoral, que abarca una distancia lineal de aproximadamente 4.5 km de frente de playa, desde Punta Brava al sur hasta el Muelle Fiscal al noroeste; y en la parte marina profunda está delimitado por una distancia entre 500 y 850 m de la línea de costa, colindante con el polígono del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, a una profundidad aproximada de 10 metros. Asimismo, el límite norte y este del polígono del SAR, en su porción marina frente a la marina de El Cid y hasta el muelle fiscal, también coincide con la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) M2 del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región denominada Corredor Cancún-Tulum. La superficie del polígono del SAR es de 267.37 hectáreas.



**Figura 3.** Muelle fiscal que limita al noreste del Sistema Ambiental Regional (celda litoral) (noviembre 2018). Fotografías: C. Delgado.



**Figura 4.** Algunas secciones de la playa que limita al oeste del Sistema Ambiental Regional (celda litoral) (noviembre 2018). Fotografías: C. Delgado.



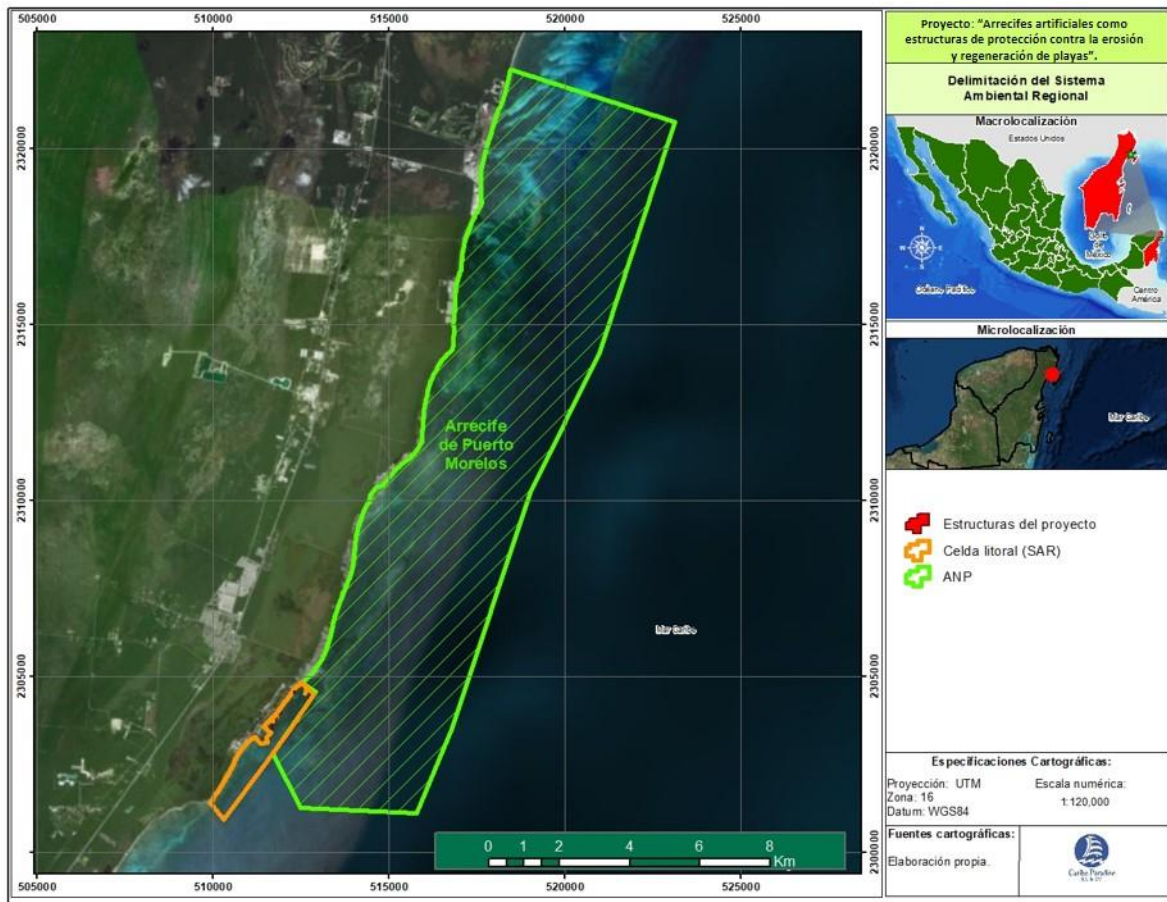
**Figura 5.** Punta Brava que limita al sur del Sistema Ambiental Regional (celda litoral). Arriba: Punta Brava observada hacia el sur dentro del Sistema Ambiental Regional (celda litoral); izquierda en medio: vista hacia el sur de la celda litoral. Izquierda abajo: vista hacia el noreste de la celda litoral; derecha abajo: Acercamiento del faro de Punta Brava (noviembre 2018). Fotografías: C. Delgado.





**Figura 6.** Agua de mar que forma crestas al romper con el Parque Nacional Arrecifes Puerto Morelos, mismo que limita al norte y este del Sistema Ambiental Regional (celda litoral) del proyecto (noviembre 2018). Fotografías: C. Delgado.

# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



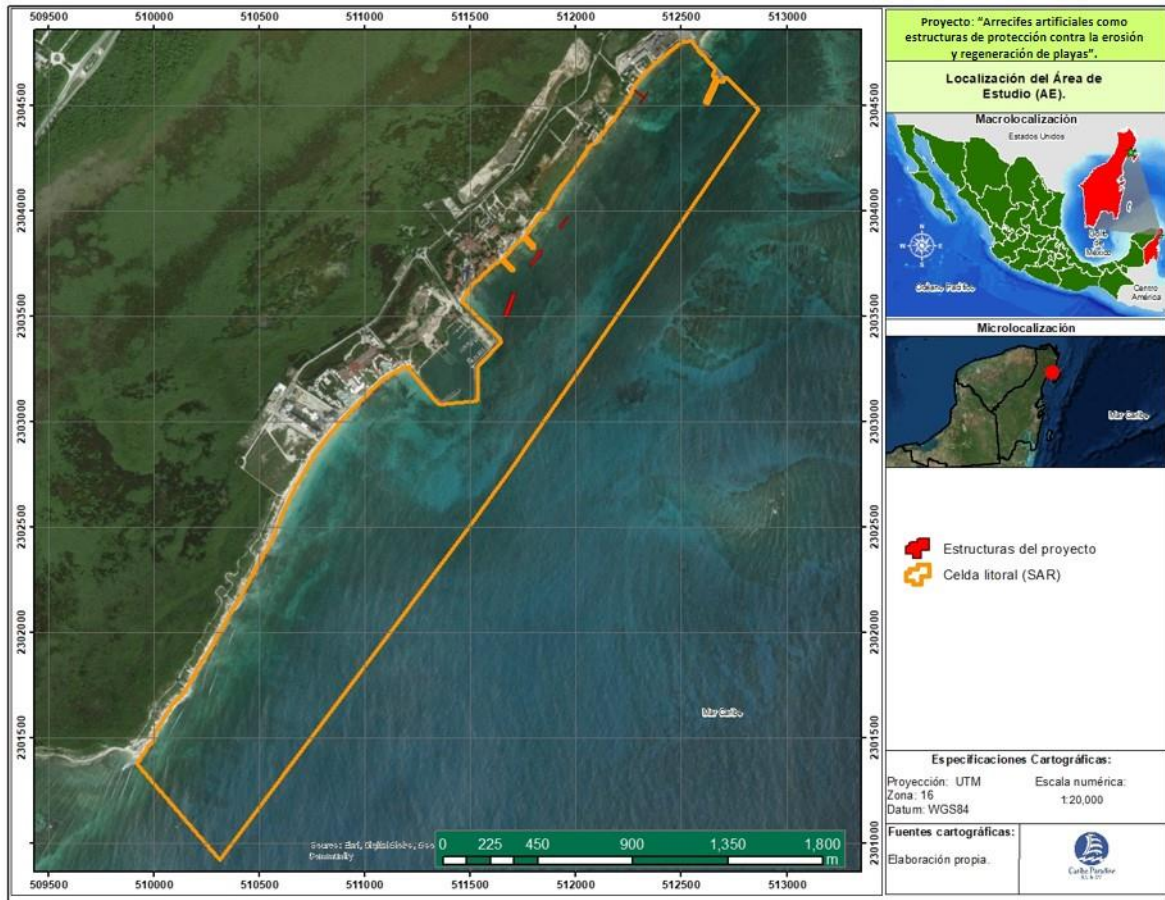
**Figura 7.** Sistema Ambiental Regional del proyecto delimitado en la parte norte y este por el Parque Nacional Arrecifes Puerto Morelos.



**Figura 8.** Sistema Ambiental Regional del proyecto delimitado también en la parte norte y este por la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) M2 del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región denominada Corredor Cancún-Tulum.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 9.** Sistema Ambiental Regional del proyecto el cual está delimitado por una celda litoral.

### IV.2.1 Aspectos abióticos

#### IV.2.1.1 Clima

Con base en el análisis de la información proporcionada por la base de datos en la web del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de las estaciones meteorológicas se eligió la estación climática 23019 Puerto Morelos, la cual se encuentra próxima al Sistema Ambiental Regional (<http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=qroo>).

La estación climatológica 23019 Puerto Morelos cuenta con un período de registro que van desde los años 1951 hasta 2010. En la tabla siguiente se muestra la

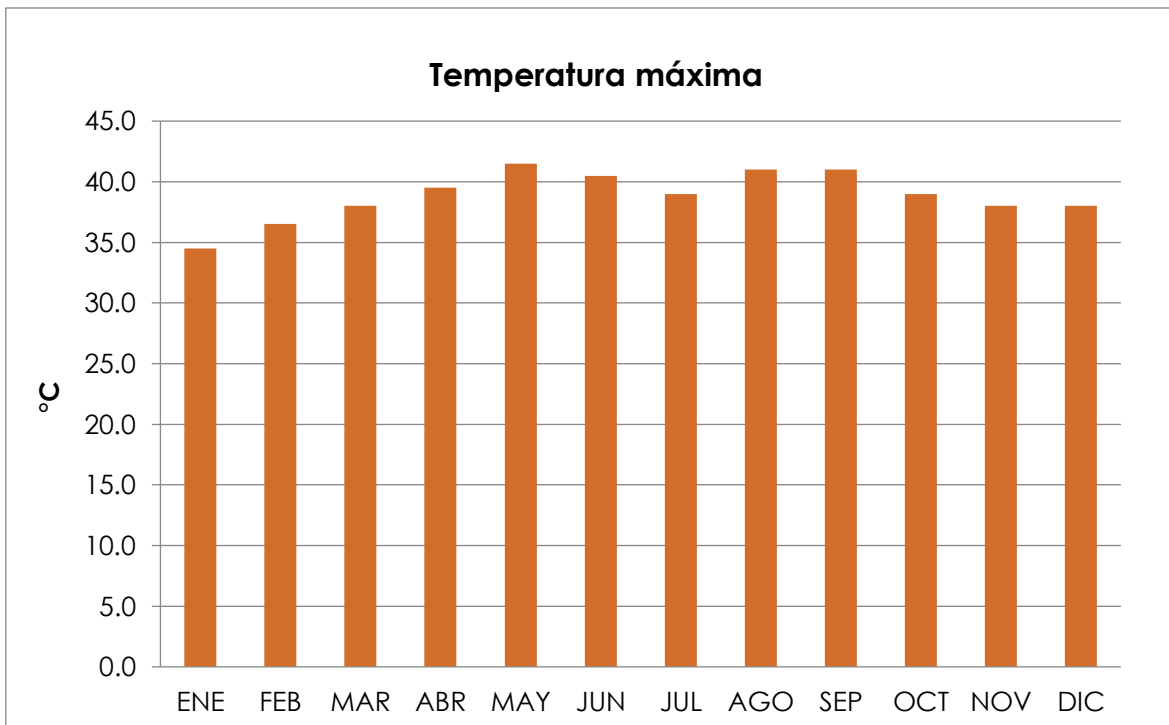


temperatura máxima, temperatura media normal, temperatura mínima, así como la precipitación normal y la evaporación total normal en cada mes de esta estación meteorológica.

**Tabla 3.** Información climática de la estación 23019 Puerto Morelos.

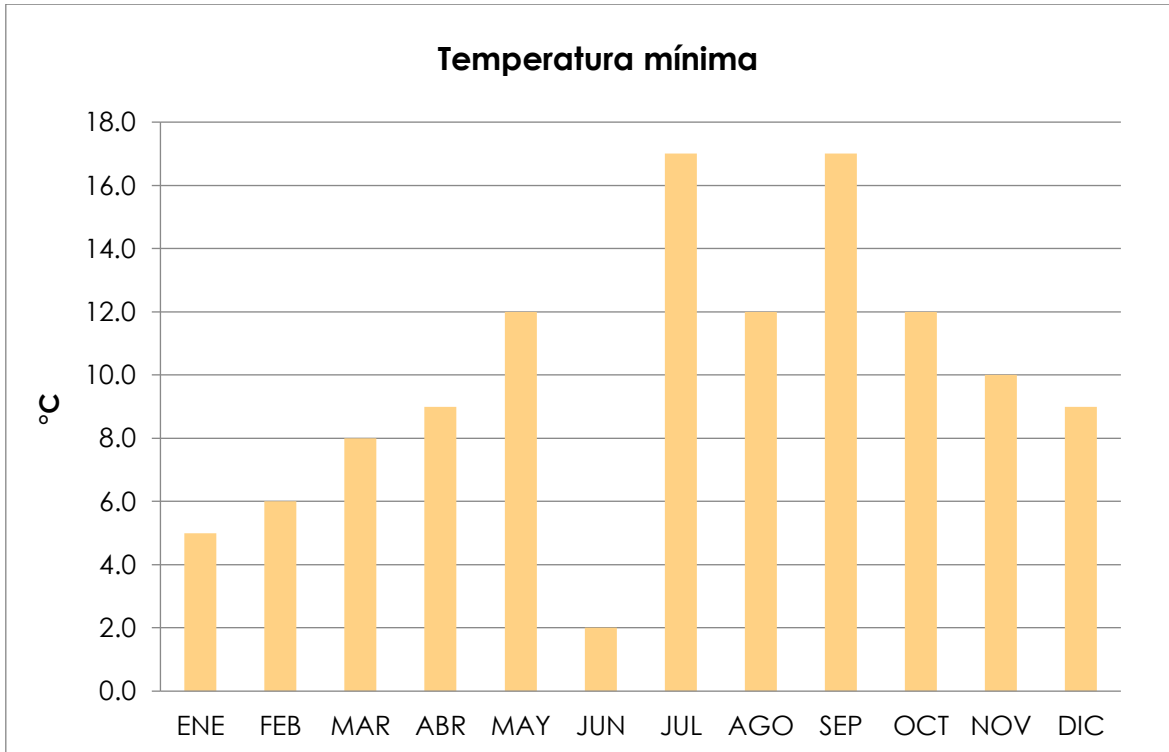
Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	Media
Temperatura máxima	34.5	36.5	38.0	39.5	41.5	40.5	39.0	41.0	41.0	39.0	38.0	35.0		38.9
Temperatura media normal	23.3	23.4	24.8	26.7	27.8	28.1	28.4	28.3	27.8	26.6	25.0	23.7		26.2
Temperatura mínima	5.0	6.0	8.0	9.0	12.0	2.0	17.0	12.0	17.0	12.0	10.0	9.0		9.9
Precipitación normal	78.6	45.2	42.3	54.0	102.0	138.3	90.3	126.7	187.1	184.0	98.8	74.7	1222.0	101.8
Evaporación total normal	102.5	116.8	151.7	171.1	181.7	167.7	164.0	158.8	132.9	119.7	101.7	95.1	1663.7	138.6

De acuerdo con los datos de la estación meteorológica Puerto Morelos, los meses más calurosos van de mayo a octubre, siendo el mes de mayo el que presenta la temperatura más alta alcanzando hasta 41.5°C.



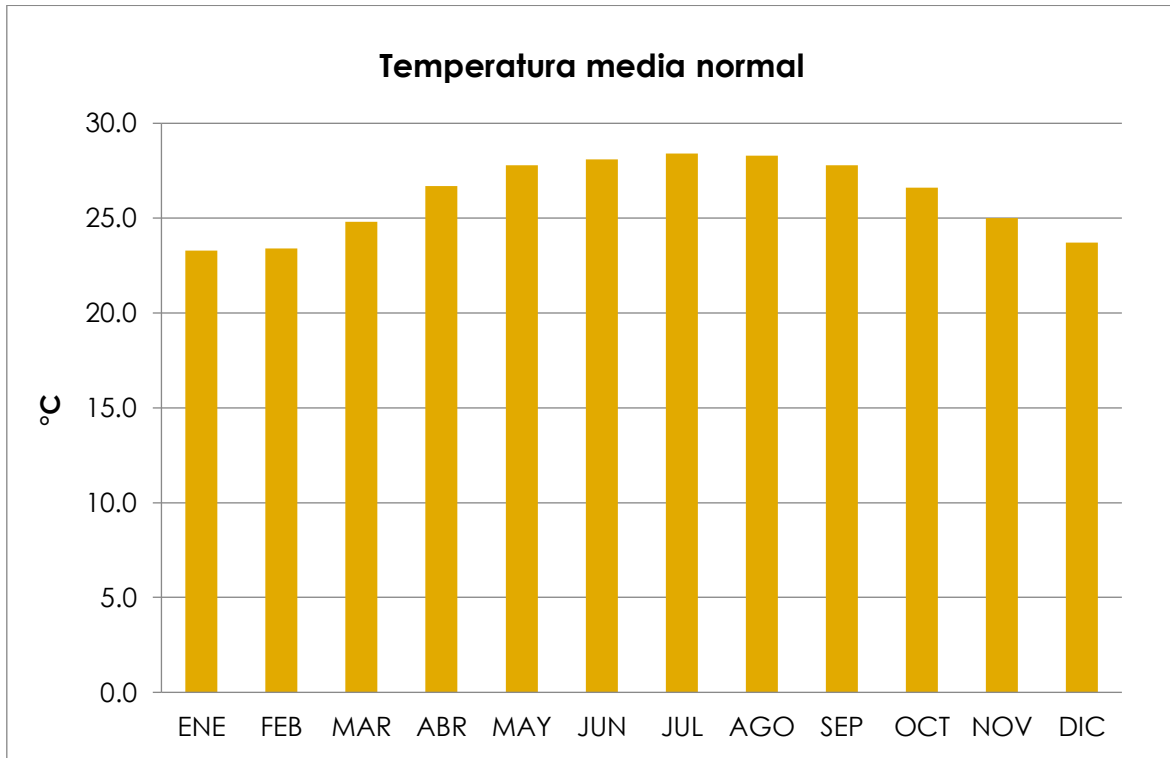
**Figura 10.** Registros de la temperatura máxima por mes en la estación meteorológica de 23019 Puerto Morelos.

Asimismo, los meses que pueden presentar las temperaturas más bajas van de diciembre a abril, siendo el mes de junio el que presenta la temperatura más baja disminuyendo hasta 5°C.



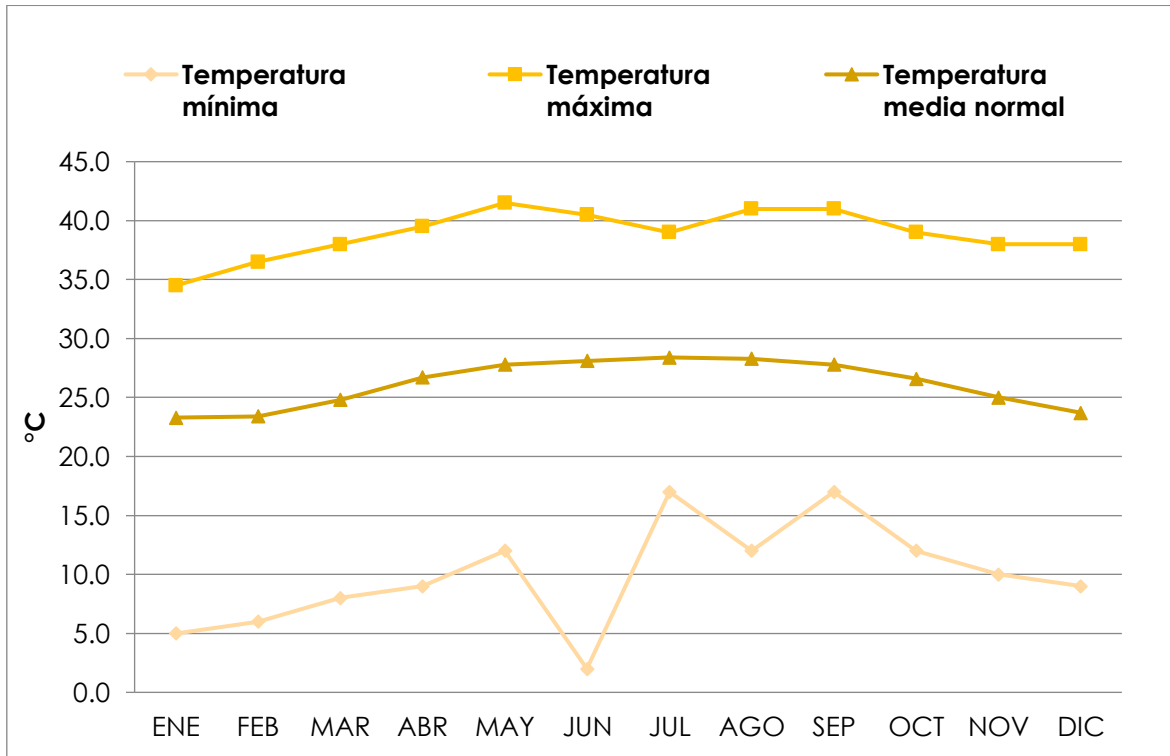
**Figura 11.** Registros de la temperatura mínima por mes en la estación meteorológica de 23019 Puerto Morelos.

Por otro lado, la temperatura media normal más baja se presenta en el mes de enero, donde se presenta una temperatura de 23.3°C, para posteriormente observarse un aumento gradual en la temperatura teniendo su cúspide en el mes de julio siendo éste el más caluroso con 28.4°C promedio, para posteriormente ir disminuyendo gradualmente.



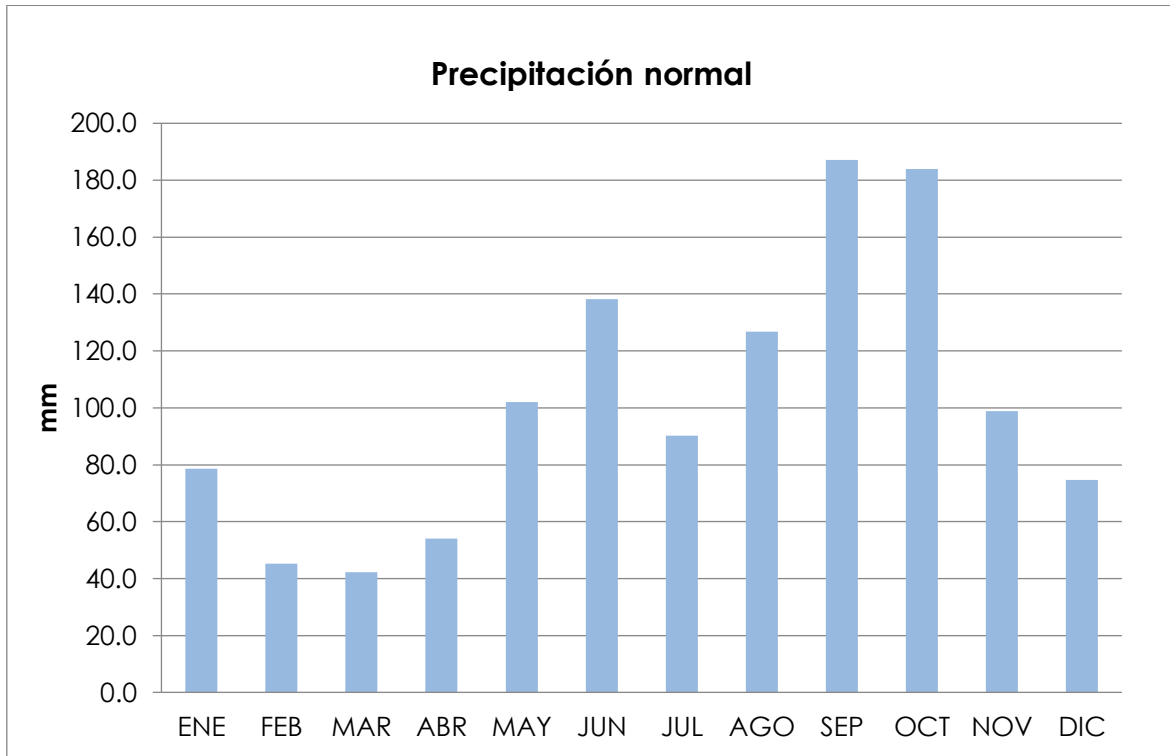
**Figura 12.** Registros de la temperatura media normal por mes en la estación meteorológica 23019 Puerto Morelos.

A continuación, se muestra una figura sobre la temperatura mínima, media normal y máxima en la estación meteorológica 23019 Puerto Morelos.



**Figura 13.** Registros de la temperatura mínima, media normal y máxima por mes en la estación meteorológica de 23019 Puerto Morelos.

Por otro lado, la precipitación normal anual es de 1222.0 mm, siendo el mes de septiembre el que mayor cantidad de precipitación recibe, contrario a los meses de febrero, marzo y abril, los cuales son los que menos precipitación presentan.



**Figura 14.** Registros de la precipitación normal en la estación meteorológica de 23019 Puerto Morelos.

Con la información de las estaciones meteorológicas se identificaron dos tipos de climas presentes en el Sistema Ambiental Regional, los cuales son: **Aw<sub>0</sub>(x')** y **Aw<sub>1</sub>(x')**.

### **Tipos de clima.**

#### **Aw<sub>0</sub>(x') (cálido subhúmedo)**

Este tipo de clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y humedad baja que se caracteriza por que la temperatura media anual es mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor de los 18°C. La precipitación del mes más seco es menor de 60 mm; las lluvias de verano indican un índice de precipitación entre temperatura (P/T) menor de 43.2, y el porcentaje de lluvia invernal varía de 5% a 10.2% del total anual. Este tipo de clima es el menos húmedo de los climas cálidos subhúmedos (INEGI 2000).

## Aw<sub>1</sub>(x') (cálido subhúmedo)

Este tipo de clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y humedad media. Al igual que en el tipo de clima anterior la temperatura media anual es mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor a 18°C. La precipitación del mes más seco tiene un intervalo entre 0 y 60 mm; las lluvias de verano indican un índice de precipitación entre temperatura (P/T) menor de 43.2 y 55.0 y el porcentaje de lluvia invernal es de 5% a 10.2% del total anual. Este tipo de clima es el que tiene una humedad intermedia entre los climas cálidos subhúmedos (INEGI 2000).

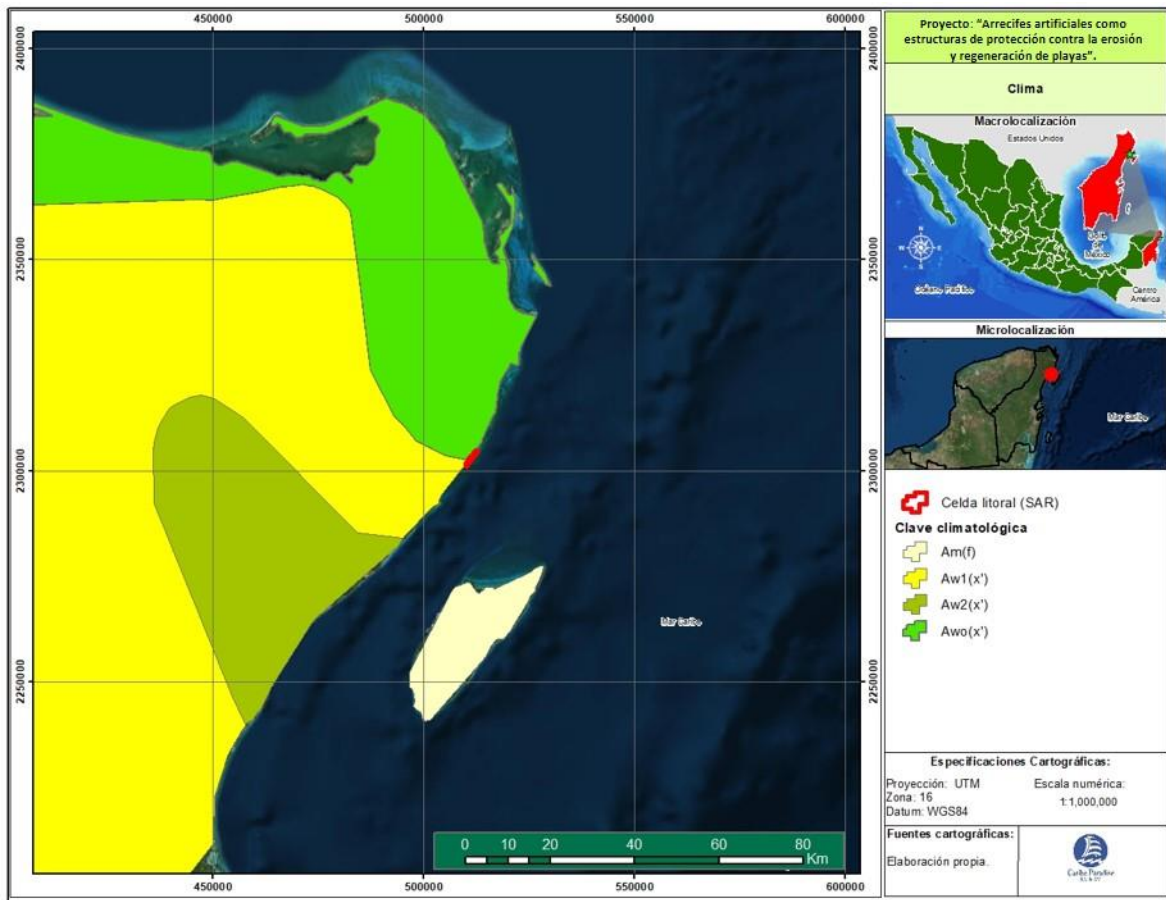


Figura 15. Clima del Sistema Ambiental Regional (García 1998).



### Fenómenos meteorológicos

Los principales fenómenos meteorológicos que afectan año tras año a la Península de Yucatán están relacionados con la época: en el verano e invierno se observan los nortes o frentes fríos; y en los meses de abril y mayo se presenta un período relativamente seco. A partir del mes de mayo y hasta octubre, la situación meteorológica en la entidad se ve fuertemente influenciada por la presencia de ondas tropicales cuyo potencial de humedad es importante, se presenta entonces la temporada de anual de lluvias, que son del tipo tropical (CONAGUA 2015).

### Ciclones tropicales.

Los eventos ciclónicos, son perturbaciones atmosféricas que se manifiestan como tempestades violentas giratorias alrededor de un centro de baja presión, en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, del cual forma parte nuestro país y estado. Se originan en mares cálidos y por su gran potencia están considerados entre los fenómenos naturales que mayor destrucción causan. La trayectoria que siguen, en general, es hacia el oeste, para después continuar al oeste-noroeste y recurvar al norte y noreste (INEGI 2004).

Los ciclones se clasifican según la intensidad de sus vientos en:

- a. Ciclón tropical. Es un sistema formado por nubes con movimiento definido con vientos máximos sostenidos menores a 60 km/h. está considerado un ciclón tropical en fase formativa.
- b. Tormenta tropical. Es un sistema formado por nubes con movimiento definido, cuyos vientos máximos sostenidos varían entre 61 y 120 km/h.
- c. Huracán. Es un ciclón tropical de intensidad máxima en donde los vientos máximos alcanzan y superan 120 km/h. Han llegado a medirse hasta 250 km/h en los vientos de los huracanes más violentos. Tienen un núcleo definido de presión en superficie muy baja, que puede ser inferior a 930 hPa (Hectopascales).

Por otra parte, la evolución de un evento ciclónico puede dividirse en cuatro fases:

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

I. Nacimiento (Depresión tropical). Se caracteriza porque aumenta la velocidad del viento a 62 Km/h; las nubes comienzan a organizarse y la presión desciende hasta cerca de los 1000 hPa.

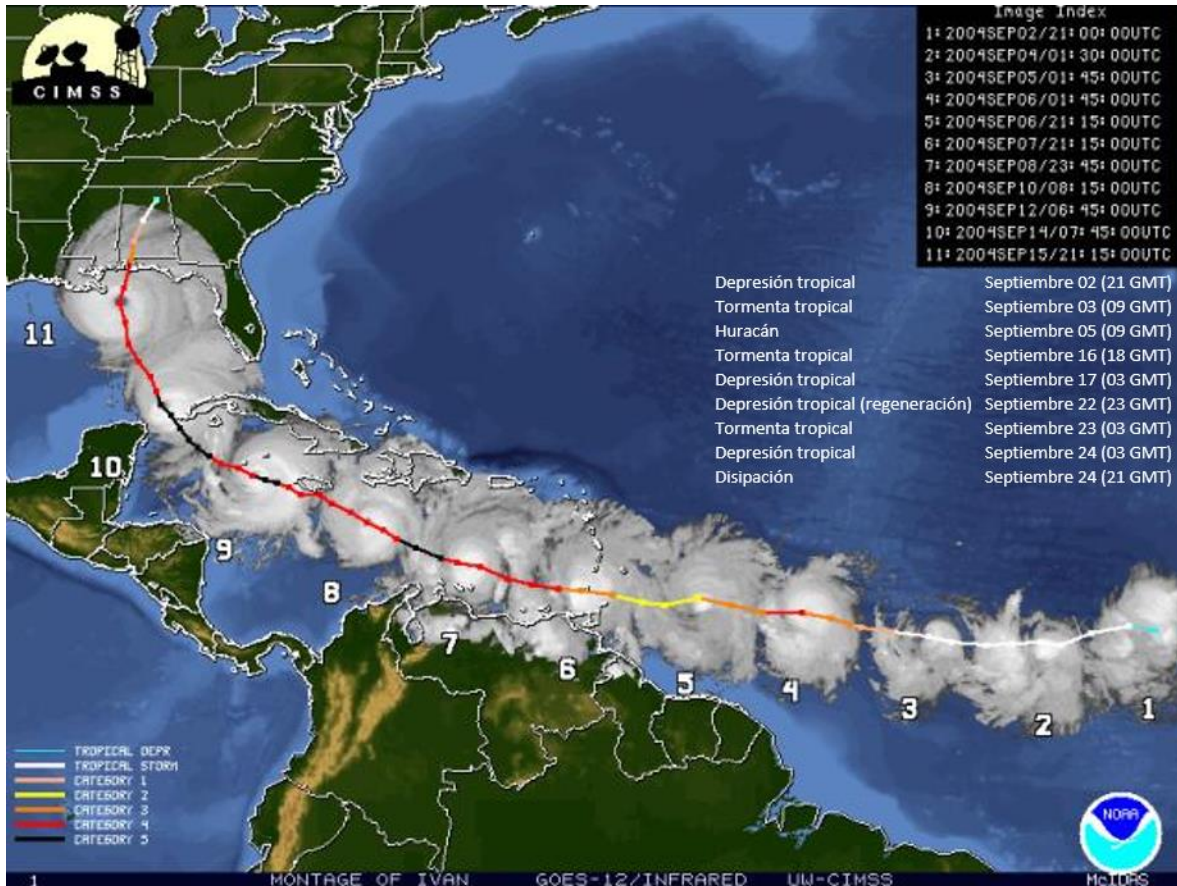
II. Desarrollo (Tormenta tropical). La depresión tropical adquiere la característica de tormenta tropical, y, por consiguiente, el viento aumenta a una velocidad máxima de entre 63 y 117 Km/h, las nubes se distribuyen en forma de espiral, se forma un ojo pequeño, por lo general de forma circular, y la presión se reduce a menos de 1000 hPa. En esta fase se le asigna un nombre correspondiente a una lista formulada por la Organización Meteorológica Mundial (Comité de Huracanes). Cuando un ciclón ocasiona un impacto social y económico importante a un país, el nombre de este ciclón no volverá a aparecer en la lista.

III. Madurez (Huracán). La tormenta tropical adquiere la característica de Huracán y alcanza un máximo de velocidad del viento, pudiendo llegar a los 370 Km/h, y en el área nubosa se expande obteniendo su máxima extensión. Los huracanes se clasifican de acuerdo a la fuerza de sus vientos, mediante la escala Saffir-Simpson.

**Tabla 4.** Escala internacional de Saffir/Simpson para clasificar la intensidad de los huracanes.

Categoría	Daños	Vientos Km/h	Presión HPA
1	Mínimos	119 a 150	Superior a 980
2	Moderados	151 a 180	965 a 979
3	Extensos	181 a 210	945 a 964
4	Extremos	211 a 250	920 a 944
5	Catastróficos	Más de 250	Menor de 920

IV. Disipación (Fase final). La presión en el centro del sistema comienza a aumentar y los vientos decrecen paulatinamente acompañados por una debilitación del sistema. En esta fase los ciclones que penetran a tierra a los que recorran hacia latitudes medias se disgregan o convierten en ciclones extratropicales. Un factor central en el fin de un huracán es la falta de sustento energético que le proporcionan las aguas cálidas; otro es que, al llegar a tierra, el rozamiento con la superficie irregular del terreno causa ensanchamiento nuboso del meteoro y provoca su detención y disipación en fuertes lluvias; otro más, es que se encuentre con una corriente fría que lo disipa.



**Figura 16.** Huracán Iván, ejemplo donde se muestra la evolución de un huracán. Fuente: SMN 2004.

La mayoría de los ciclones tropicales no pasan por todas las fases antes mencionadas, o pasan tan rápidamente que se hace imposible detectar dichas fases mediante la información sinóptica disponible. A los sitios donde se generan los huracanes se les conoce como “zonas ciclógenas” y existen ocho en nuestro planeta (cada zona ciclógena puede tener varias regiones matrices).

Los huracanes que afectan al territorio Mexicano tienen cuatro regiones matrices o de origen y en ellas aparecen con distinto grado de intensidad, que va creciendo a medida que progresa la temporada, que se extiende iniciando la segunda quincena de mayo hasta la primera quincena de noviembre, con la circunstancia de que los meteoros finales son potentes, ya que no retornan por las fases iniciales de los primeros, que pasan de sistemas lluviosos a depresionarios, luego a tormentas tropicales y finalmente a huracanes, pudiendo algunos transcurrir en la primera fase,

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

sin modificación. Por su parte, las zonas matrices van entrando en actividad sucesivamente, a la manera como se propaga un incendio, pero con la circunstancia de que todas conservan su fuego hasta el final de la estación.

**La primera zona matriz** se ubica en el **Golfo de Tehuantepec** y se activa generalmente durante la última semana de mayo, marcando el inicio de la temporada de lluvias en nuestro país, los huracanes de esta zona matriz, nacen en latitud 15° N aproximadamente y por lo general los primeros viajan hacia el oeste alejándose de costas nacionales, mientras que los generados de julio en adelante, describen una parábola paralela a la costa del Pacífico, afectando los estados del Occidente y Noroeste y a veces llagan a penetrar en tierra, sin embargo, durante su primera rama dan lluvias torrenciales a las costas Oaxaqueñas que resultan colocadas en el semicírculo peligroso del huracán.

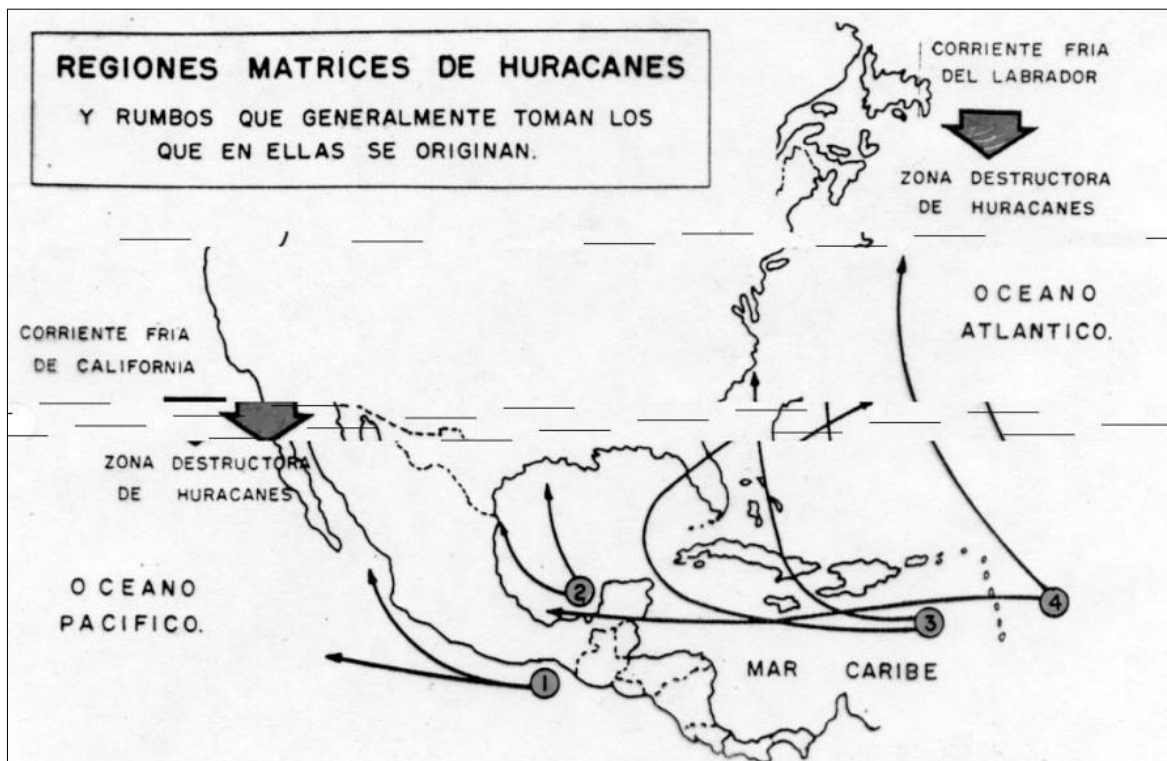
**La segunda zona matriz** se localiza en la porción Suroeste del Golfo de México, en las aguas cálidas que forman la denominada “**Sonda de Campeche**” y entra en acción en la primera quincena de junio en latitud próxima a los 20° N con ruta nor-noreste, afectando a los estados de Veracruz y Tamaulipas.

**La tercera zona matriz** se encuentra en la región oriental del **Mar Caribe** en la latitud de 13° N más o menos, y sus huracanes aparecen desde julio y especialmente entre agosto y octubre. Estos huracanes presentan gran intensidad y largo recorrido, llegando algunos a cruzar la península de Yucatán, para azotar los estados de Tamaulipas y Veracruz, después de haberlo hecho con las entidades de la citada península. Estos huracanes presentan una trayectoria parabólica bien definida y generalmente su recurva al Norte la hacen cerca de los 19° N y cinco grados más al Norte muestran una ligera inflexión hacia el Noreste, que se hace francamente notable casi a los 30° N lo que lleva a atravesar la península de la Florida para salir al Atlántico.

**La cuarta zona matriz** se encuentra en la **Región** Oriental del Océano **Atlántico** en latitud 8° a 12° N y se activa a finales de julio, especialmente en agosto. Los huracanes de esta zona son de mayor potencial y recorrido, generalmente se dirigen al oeste atraviesan el **Mar Caribe** y penetran al Golfo de México donde se comportan de manera parecida a los originados en la tercera región matriz. Cabe hacer notar la mayor frecuencia con que en estos meteoros se observa una modificación aparentemente caprichosa de su trayectoria, que les lleva a describir bucles o



curvas cerradas, con momentánea pérdida de intensidad, como si la energía generadora se debilitara para recuperarse después con mayor brío, ofreciendo el aspecto de detención y cambio de rumbo, no concordante con la regla clásica, esto indudablemente se debe a la creciente transformación del anticiclón de los Azores por influjo del otoño y la intromisión de aguas marítimas a menos temperatura.



**Figura 17.** Regiones matrices de huracanes. 1. Golfo de Tehuantepec; 2. Sonda de Campeche; 3. Caribe Oriental; 4. Región Atlántica. La temporada de huracanes inicia la segunda quincena de mayo y termina la primera quincena de octubre. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional 1997.

Para el caso que nos ocupa, los ciclones tropicales que ocurren en las costas de **Quintana Roo**, se originan en la Región del Mar Caribe y en la Región Oriental del Océano Atlántico, de la zona de las islas de Cabo Verde, cerca de la costa occidental de África. La gran magnitud y violencia de los huracanes se deben a que – si encuentran condiciones propicias en su largo recorrido – tienen mucho tiempo para crecer y vigorizarse, y parte de este proceso ocurre durante su tránsito sobre el Caribe (Morales 2004). Quintana Roo ocupa el tercer lugar en incidencia de huracanes, después de Baja California Sur y Sinaloa. En el Sistema Ambiental

Regional del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”, las depresiones tropicales y ciclones se manifiestan durante los meses de junio a octubre. Según datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), 30 ciclones tropicales afectaron al estado de Quintana Roo entre 1970 y 2007. Los huracanes de mayor magnitud fueron Janet (1955), Hallie (1966), Dorothy (1970), Carmen (1974), Eloise (1975), Gilberto (1988), el Wilma en 2005 y Dean en 2007, reportaron los daños materiales más cuantiosos de los que se tenga memoria.

A continuación, se muestra una lista de sistemas tropicales que se presentaron en el estado de Quintana Roo (NOAA).

**Tabla 5.** Sistemas tropicales por año, punto de entrada, categoría de entrada, presión y vientos máximos.

Nombre	Año	Punto de entrada	Categoría de entrada	Presión (mb)	Vientos Máximos Sostenidos (nudos)
Hermine	1980	Belice	Tormenta Tropical	994	60
Gilbert	1988	Cozumel	H5	892	145
Keith	1988	Cancún	Tormenta Tropical	993	60
Diana	1990	Sian Ka' An RB	Tormenta Tropical	1000	45
Claudette	1993	Puerto Morelos	Tormenta Tropical	1009	50
Gert	1993	Belice	Tormenta Tropical	1000	35
Opal	1995	Sian Ka' An RB	Depresión Tropical	1004	25
Roxanne	1995	Tulum	H3	958	100
Dolly	1996	Sian Ka' An RB	Tormenta Tropical	999	65
Mitch	1998	Honduras	H5	922	135
Katrina	1999	Chetumal	Depresión Tropical	1008	25



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

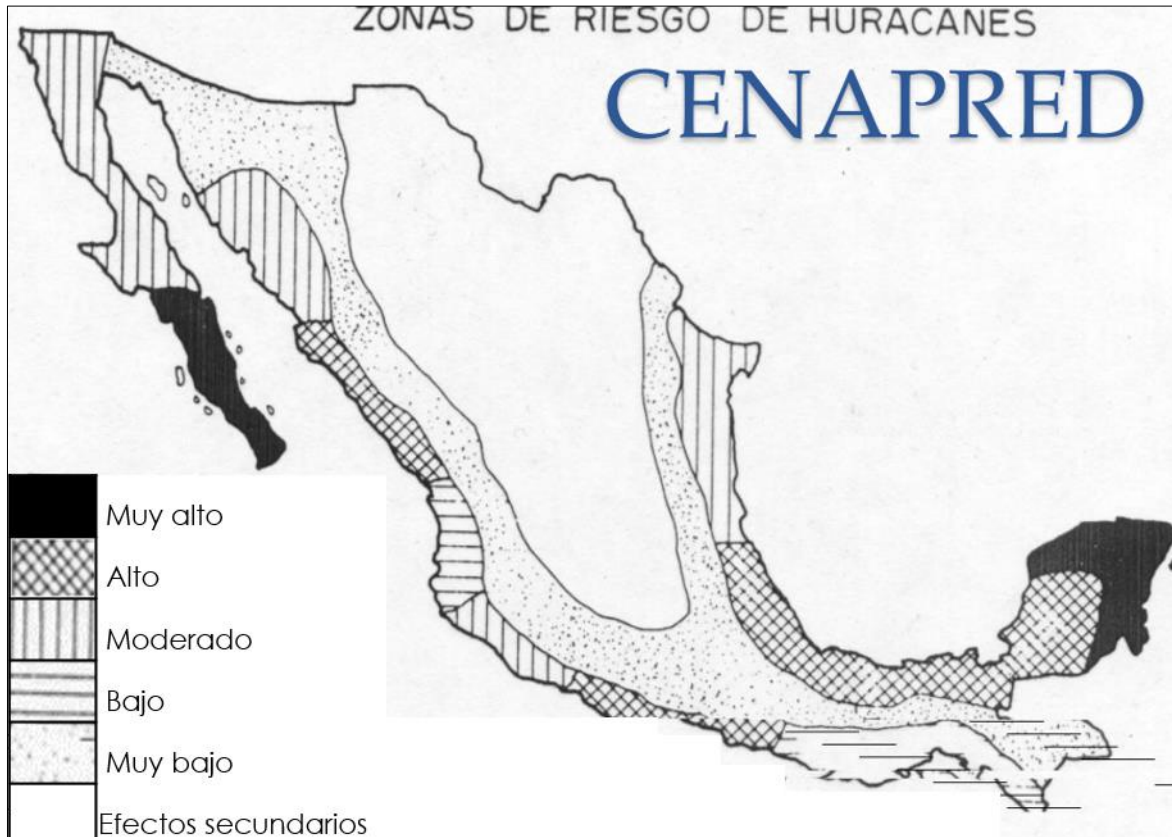
Nombre	Año	Punto de entrada	Categoría de entrada	Presión (mb)	Vientos Máximos Sostenidos (nudos)
Gordon	2000	Akumal	Depresión Tropical	1007	25
Keith	2000	Belice	Tormenta Tropical	989	60
Chantal	2001	Belice	Tormenta Tropical	1000	60
Isidore	2002	Telchac, Yuc.	H3	935	110
Larry	2003	Tulum	Tormenta Tropical	1007	20
Billy	2003	Balam Kaax ANP	Depresión Tropical	1009	20
Cindy	2005	Banco Chinchorro	Depresión Tropical	1007	30
Emily	2005	Playa del Carmen	H5	955	115
Stan	2005	Sian Ka' An RB	Tormenta Tropical	1003	35
Wilma	2005	Playa del Carmen	H4	926	120
Dean	2007	Mahahual	H5	907	150
Olga	2007	Cancún	Depresión Tropical	1006	30
Dolly	2008	Playa del Carmen	Tormenta Tropical	1007	45

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Otro factor que influye la actividad ciclónica es la variabilidad inducida por El Niño en la temperatura (temperaturas oceánicas calientes) y su contraparte La Niña (temperaturas oceánicas frías; CONAGUA, 2007).

A continuación, se muestra un mapa de México con las zonas de riesgo de huracanes y sus categorías de intensidad. Quintana Roo, y, por lo tanto, el Sistema

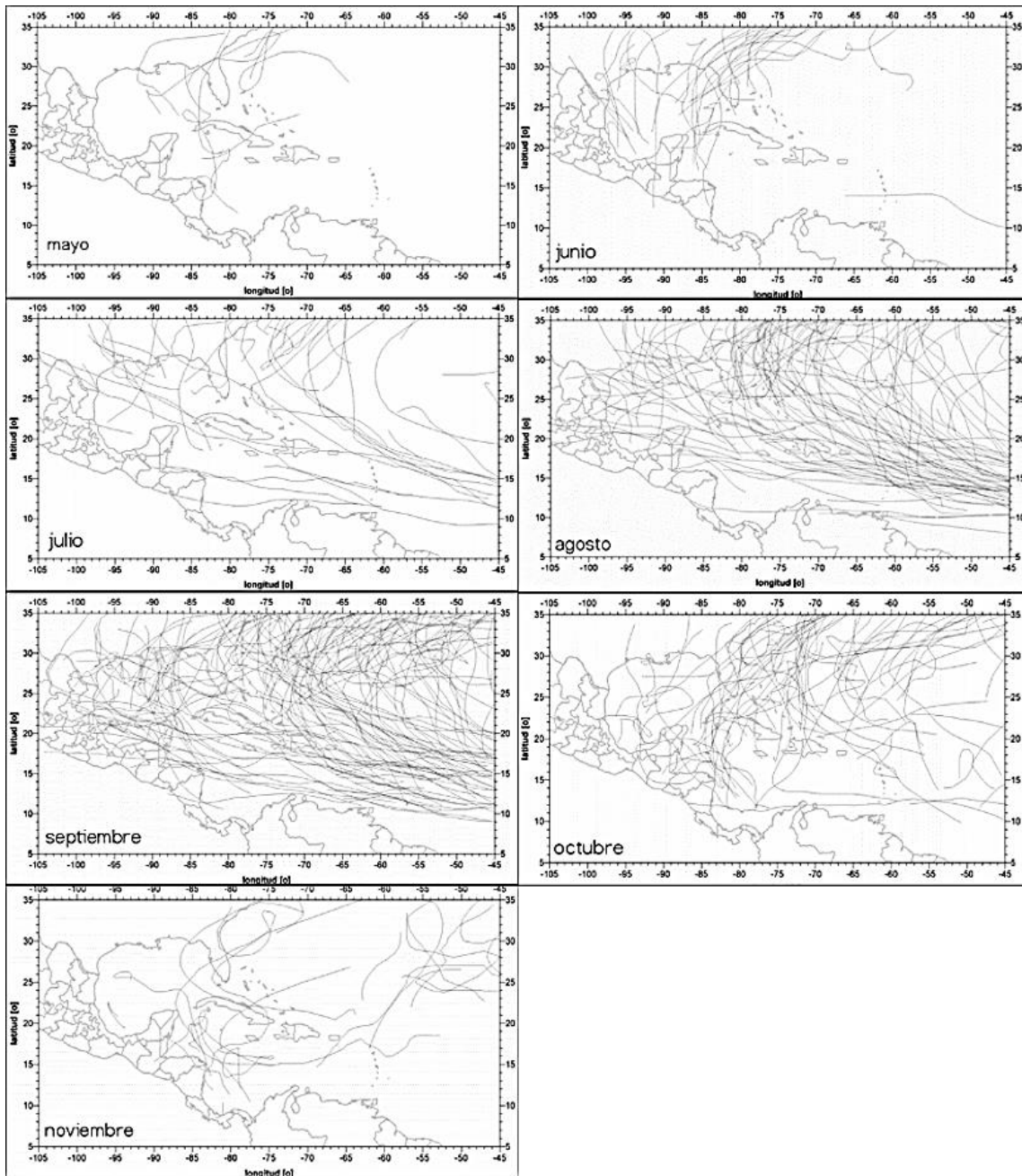
Ambiental Regional del proyecto, se encuentran en una zona de alto riesgo de huracanes.



**Figura 18.** Zonas de riesgo de huracanes.

En la siguiente figura se muestran las trayectorias de ciclones tropicales que han ocurrido en el océano Atlántico, en el periodo de 1951 al 2000, en este caso se presentan mes por mes a lo largo de la temporada. La temporada de ciclones tropicales inicia el 1° de junio y termina el 30 de noviembre. Como se puede observar en la siguiente figura, históricamente ningún ciclón tropical ha ocurrido en el mes de mayo, mientras que en el mes de agosto se nota un incremento en los ciclones tropicales, siendo septiembre el mes con mayor número de ciclones tropicales que afectan directamente las costas de la península de Yucatán, sitio donde se ubica el proyecto. En noviembre todavía existe una probabilidad de que se produzcan afectaciones por estos fenómenos (Rosengaus *et al.* 2014).

Esto sugiere que el Sistema Ambiental Regional, se encuentra expuesto a ciclones tropicales de mayor intensidad en el mes de septiembre.



**Figura 19.** Trayectorias de los meses de mayo a noviembre de los ciclones tropicales que han pasado por el océano Atlántico, periodo 1951 a 2000. Fuente: Rosengaus et al. 2014.

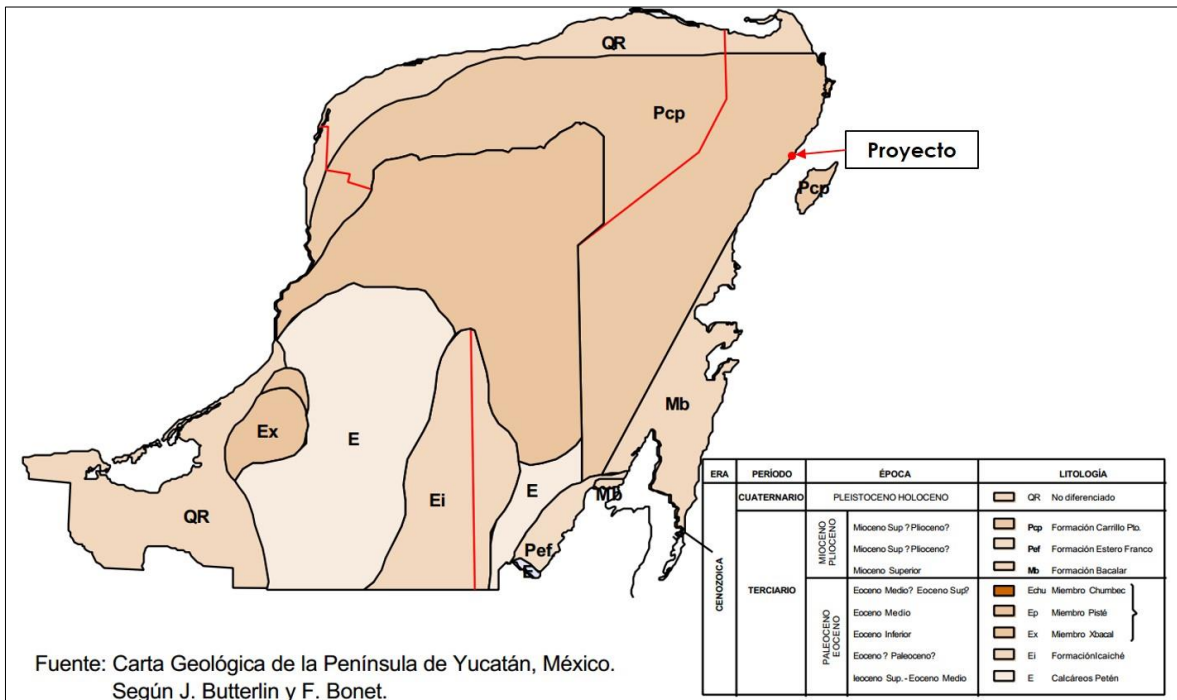
En suma, la información anterior muestra que el Sistema Ambiental Regional está en contacto directo con este tipo de fenómenos climatológicos. Por lo tanto, es susceptible a impactos de mayor o menor intensidad debido a que puede ser el punto de entrada de una tormenta, depresión o ciclón tropical al territorio nacional.

### IV.2.1.2 Geología

El **Sistema Ambiental Regional (SAR)** del proyecto **se localiza en el Mar Caribe**, el cual tuvo su origen durante el periodo Terciario, entre 65 y dos millones de años antes del presente, como resultado de la deriva continental o desplazamiento de las placas de la corteza terrestre (Morales 2004). En este largo y lento proceso, las placas continentales de Norte y Sudamérica se fueron alejando del primitivo supercontinente de Pangea y así se formó el océano Atlántico. A la vez, se iban separando una de la otra, y en el espacio que dejaban se fue introduciendo un gran trozo rectangular de la placa del Pacífico, que finalmente se separó y se diferenció de ella para constituir lo que ahora es la placa del Caribe. Finalmente, los movimientos tectónicos llevaron al istmo centroamericano hasta el sitio que ahora ocupa, separando por completo al Atlántico del Pacífico en esa región, de tal forma que así nació el **mar Caribe** (Morales 2004).

El SAR del proyecto, a su vez, se ubica en una estructura geológica, también conocida como **plataforma carbonatada**, la cual consiste en carbonatos y evaporitas, depositadas durante el Cretácico inferior hasta el Mioceno. En cuanto al Mioceno, consiste de calizas blandas, pero con nódulos duros que pueden formar verdaderos niveles, éstas pasan a margas blancas en los niveles inferiores y a veces se presentan finas capas de yeso. En la siguiente figura, se puede observar que el Sistema Ambiental Regional del proyecto es parte de la Formación Carrillo Puerto (Pcp) (CONAGUA 2017).





**Figura 20.** Geología del Sistema Ambiental Regional del proyecto.

### IV.2.1.3 Geomorfología

La geomorfología costera tiene dos objetivos principales: estudiar la forma de las costas y los procesos que actúan en ella (Guido *et al.* 2009). En este sentido, el **Sistema Ambiental Regional se encuentra ubicado en la plataforma continental**, es decir, la superficie del fondo submarino de suave pendiente que se extiende desde la costa sin exceder los 200 m de profundidad y muy reducida en la costa de Quintana Roo (800 km lineales), con tan solo 9,000 km<sup>2</sup> (Morales 2004). La plataforma continental a **su vez forma parte de la plataforma carbonatada**, cuyo límite geomorfológico es el talud continental (Lugo *et al.* 2009). En la siguiente figura se muestra la geomorfología; cabe señalar que las capas del mapa están desfasadas con la imagen satelital, y, por lo tanto, la capa de “Continente” debe coincidir hasta la línea de costa, mientras que la capa de “Plataforma continental” debe coincidir con el SAR.

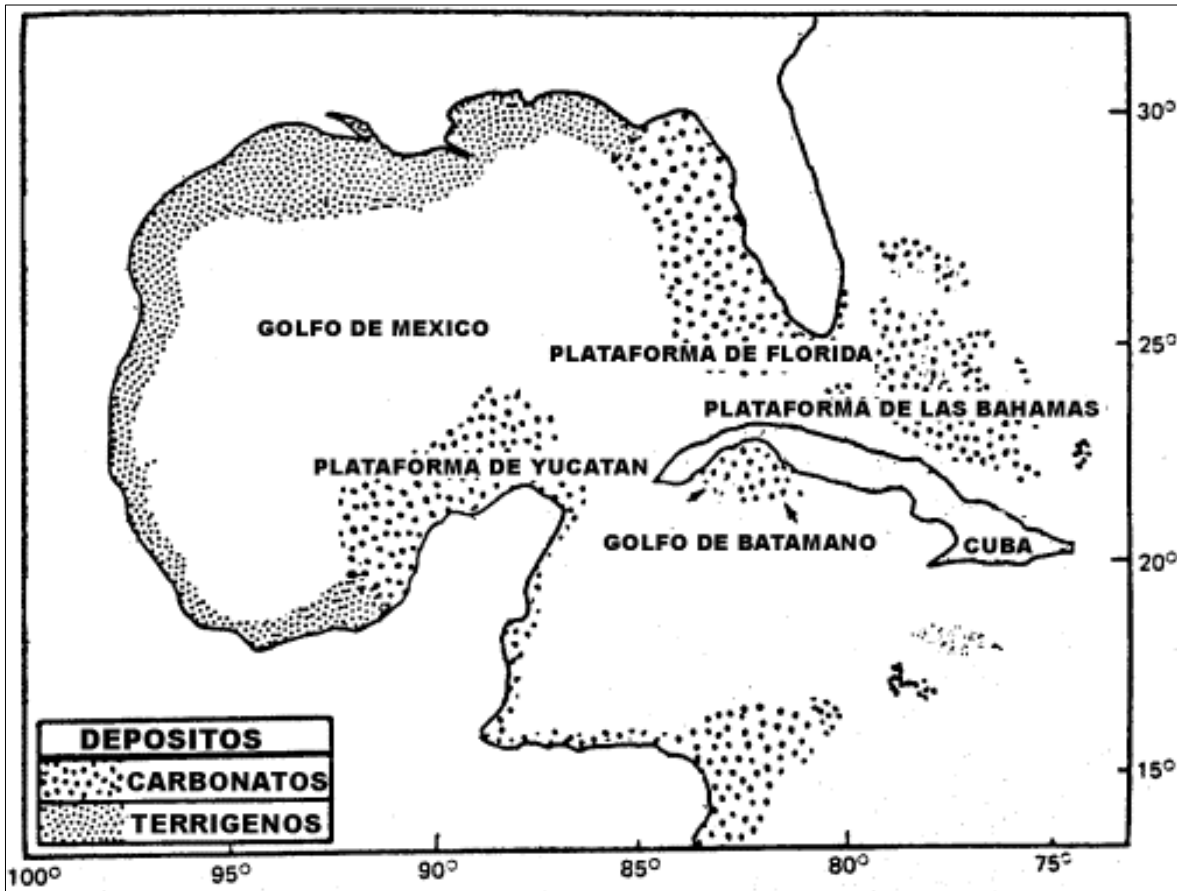
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 21.** Geomorfología del Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto (Lugo *et al.* 2009).

La **plataforma carbonatada** es una superficie sumergida a poca profundidad sobre la que se depositan carbonatos. La deposición de carbonatos se debe a la presencia de organismos (e.g., corales, algas, coralinas, algas verdes, foraminíferos y moluscos) que secretan carbonato de calcio y a la presencia de organismos que utilizan este carbonato de calcio para la construcción de sus conchas o esqueletos. Las plataformas carbonatadas se forman en áreas donde no hay aporte de terrígenos o es mínimo, ya que el aporte de terrígenos afecta directamente el crecimiento de los organismos productores de carbonatos, especialmente en los constructores de arrecifes. Una de las condiciones para la formación y evolución de las plataformas carbonáticas es que se encuentre en áreas aisladas de aporte silicoclástico intenso (UNISON 2005).





**Figura 22.** Distribución general de los ambientes marinos someros en el Golfo de México y el Mar Caribe. Fuente: Davis 1992.

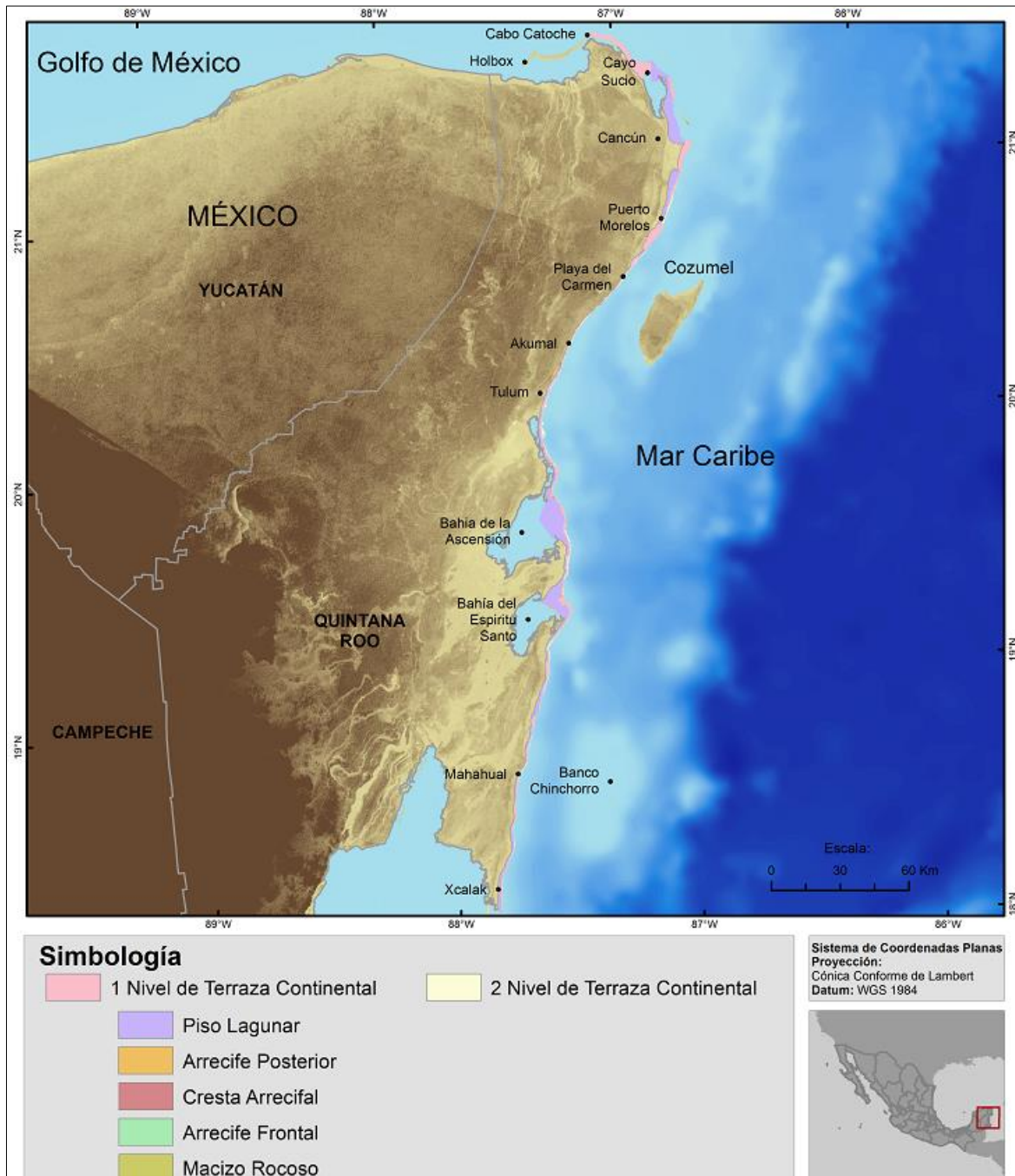
En las plataformas carbonatadas, como en las que se encuentra el Sistema Ambiental Regional del proyecto, existe un equilibrio dinámico entre la producción de carbonatos y la subsidencia (*i.e.*, proceso de hundimiento vertical de una cuenca sedimentaria como consecuencia del peso de los sedimentos que se van depositando en ella de una manera progresiva), para permitir acumulaciones gruesas y mantener la profundidad adecuada para favorecer continuamente el aporte de carbonato de calcio (UNISON 2005).

#### IV.2.1.3.1 Relieve marino

Cerdeira-Estrada *et al.* (2018) estudiaron la distribución espacial y extensión del relieve submarino de los ecosistemas del Caribe mexicano, que cubren las aguas someras del sistema arrecifal mesoamericano. Por lo que a partir del análisis de

datos en campo y de imágenes satelitales WorlView-2 se generaron productos de reflectancia de fondo y batimetría satelital.

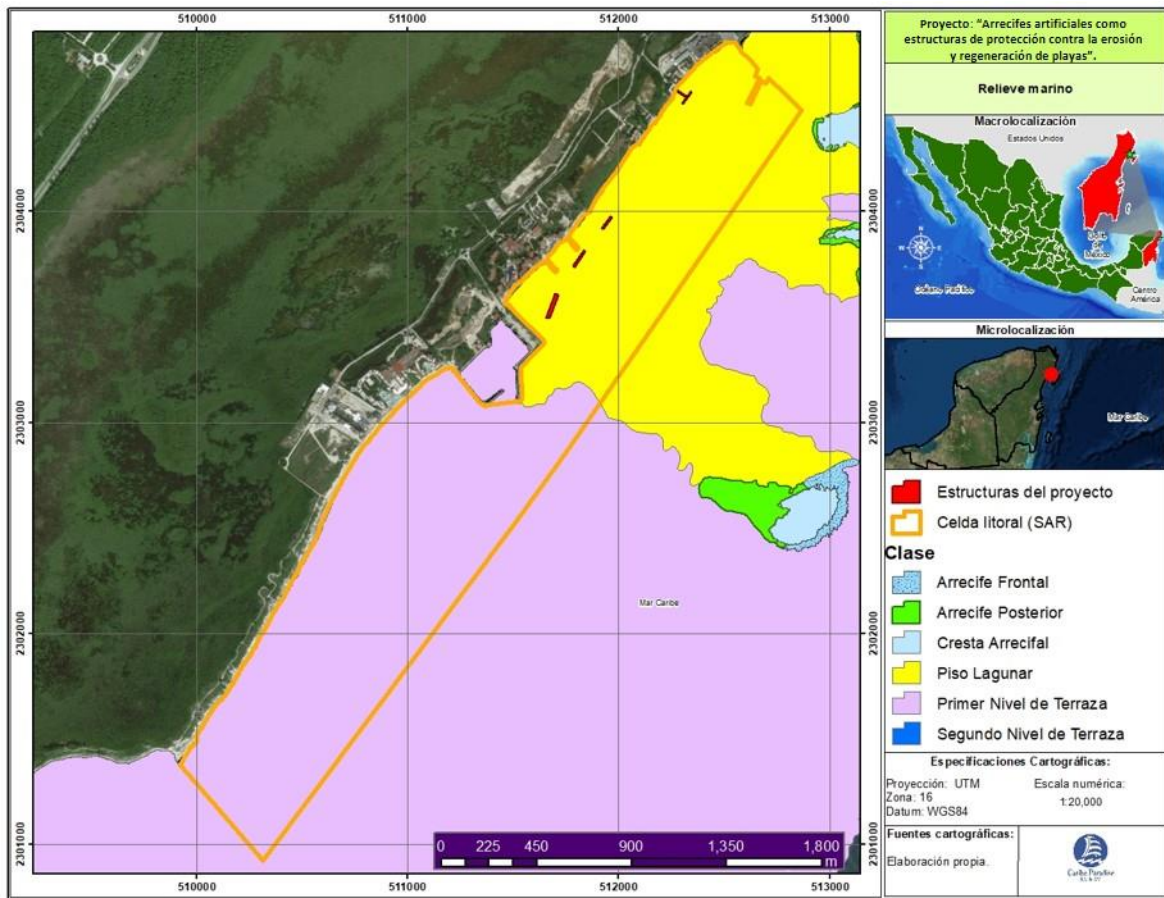
Como resultado, dentro de la plataforma continental, realizaron una clasificación jerárquica en dos niveles de terraza con profundidad máxima de 18 m: primer nivel de terraza continental y segundo nivel de terraza continental. En el segundo nivel de terraza continental, se encuentran las formas erosivas, acumulativas y de acreción orgánica, la cuales son: 1) piso lagunar, 2) arrecife posterior, 3) cresta arrecifal, 4) arrecife frontal y 5) macizos rocosos (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018).



**Figura 23.** Relieve Submarino de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano desde Cabo Catoche hasta Xcalak. Fuente: Cerdeira-Estrada *et al.* 2018.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

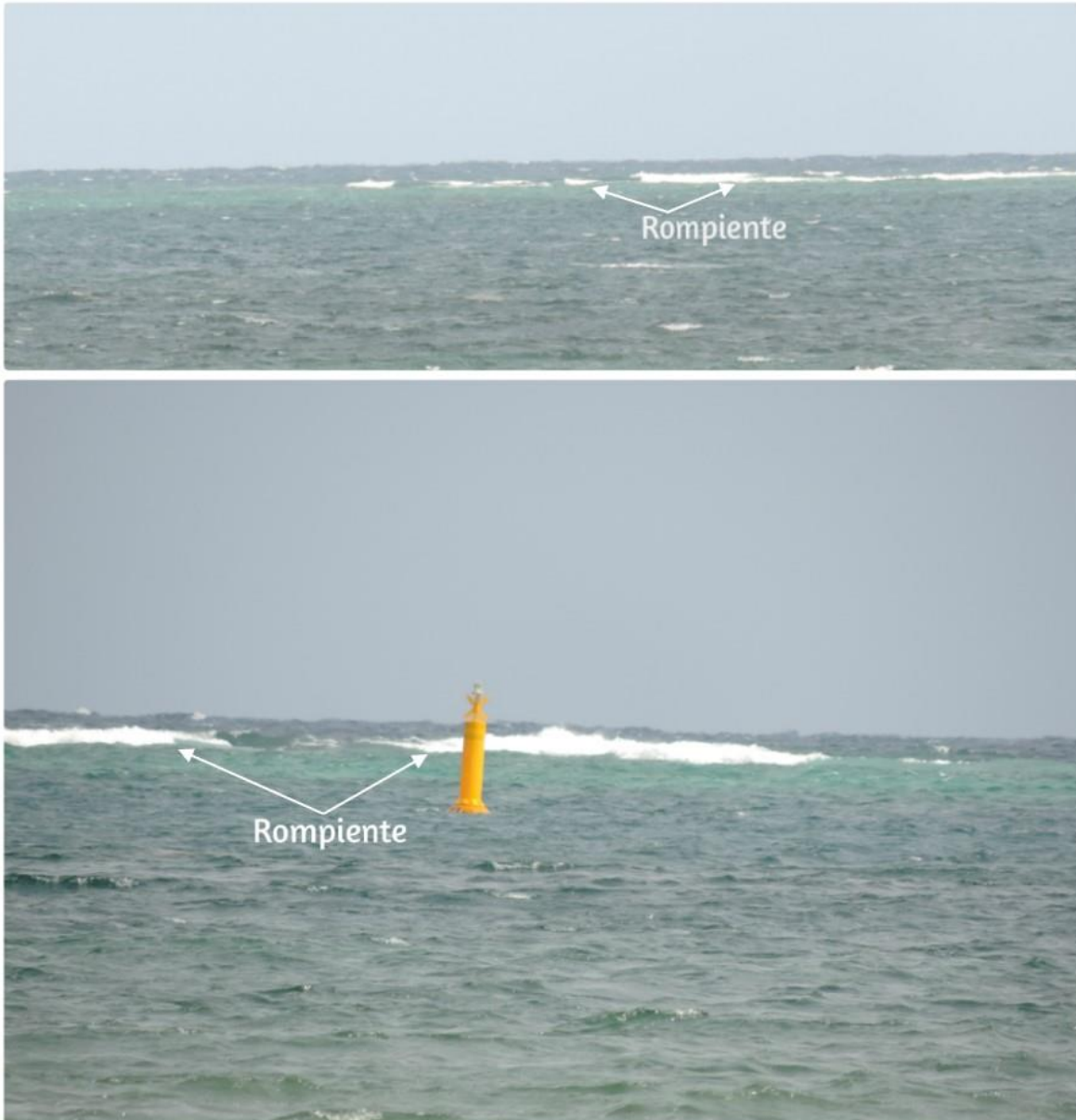
De acuerdo con esta clasificación jerárquica, la mayor parte del Sistema Ambiental Regional se encuentra en el Primer Nivel de Terraza Continental; y el resto del SAR se ubica en el Piso Lagunar (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018). De tal forma que el relieve del SAR no presenta variaciones importantes, alcanzando una profundidad aproximada de 10 m.



**Figura 24.** Relieve marino del Sistema Ambiental Regional del proyecto. Fuente: Cerdeira-Estrada *et al.* 2018.

Es importante mencionar que, al este y norte fuera del polígono del SAR, se ubican arrecifes en los cuales se puede apreciar el arrecife frontal, la cresta arrecifal y el arrecife posterior, mismos que se ubican dentro del Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos.





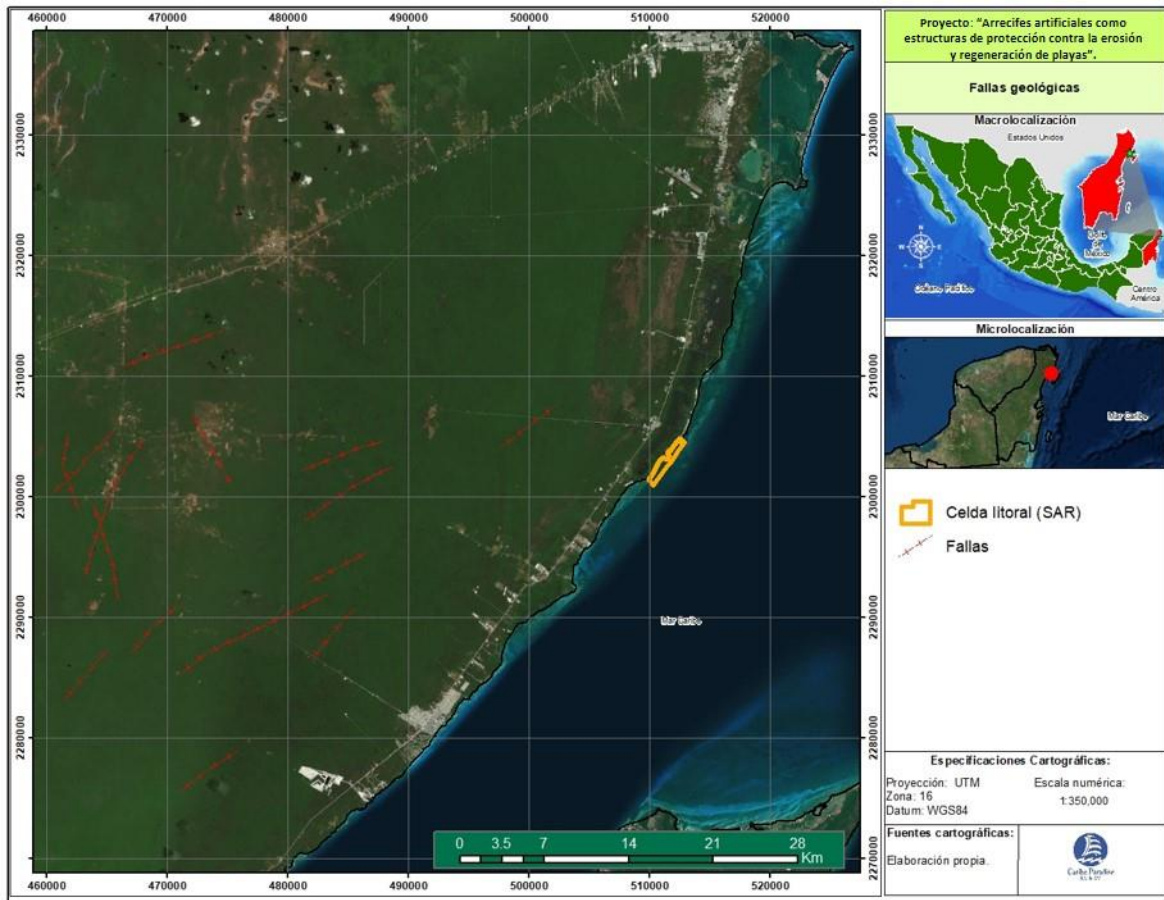
**Figura 25.** Rompientes formados por la presencia del arrecife al este y norte fuera del polígono del Sistema Ambiental Regional (noviembre 2018). Fotografías: C. Delgado.

#### IV.2.1.3.2 Fallas y fracturamientos

La sección de la plataforma continental donde se encuentra ubicado el Sistema Ambiental Regional del proyecto, es muy estrecha. Esto se debe a la existencia de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

una serie de fallas que separan las placas tectónicas norteamericana y del Caribe. Justo en el canal entre la península y Cozumel se tiene una de esas fallas, lo que hace que dicho canal sea profundo, aproximadamente 500 m. Se sabe que, sobre las plataformas estrechas, los sedimentos no son retenidos por mucho tiempo sobre las playas, aunque en el área de Playas del Carmen, la presencia de barreras arrecifales contribuye a la retención de sedimentos. Por lo tanto, se plantea la hipótesis de que existe una pérdida de arena desde la plataforma interna hacia el fondo del canal (Guido *et al.* 2009).



**Figura 26.** Se observa la plataforma continental, junto con la barrera de arrecifes de coral y fallas geológicas.

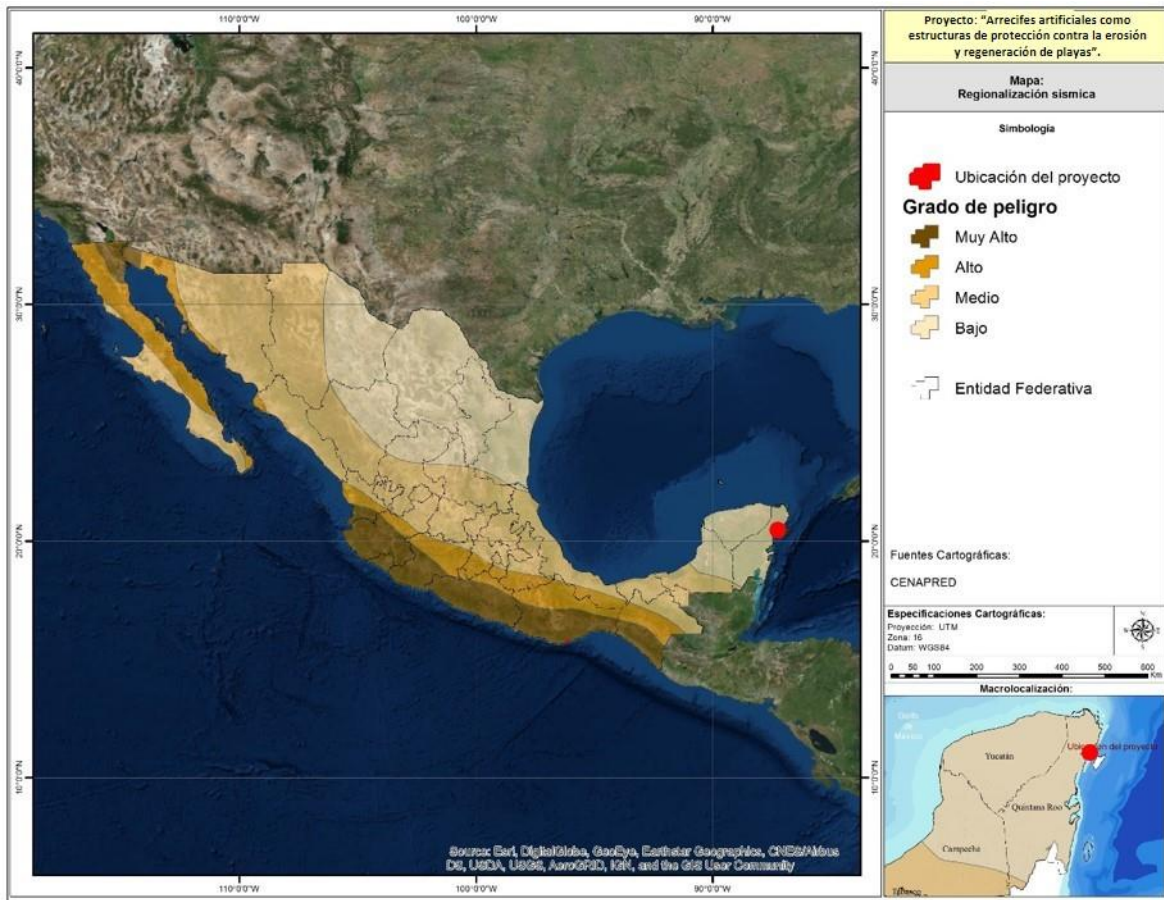


### IV.2.1.3.3 Susceptibilidad de la zona a sismicidad

De acuerdo con información del Servicio Meteorológico Nacional, la República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas, mismas que fueron diferenciadas con base en registros históricos y registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos a lo largo del siglo pasado (figura siguiente).

El **Sistema Ambiental Regional (SAR)** se localiza en una zona muy estable desde el punto de vista sísmico, ya que se ubica sobre la placa de Norteamérica, lejos de la línea de contacto con la del Caribe. Ambas placas se deslizan en sentido opuesto a lo largo de sus bordes, por lo tanto, no hay procesos de encuentro que provoquen sacudidas sísmicas. De tal forma que, en la Península de Yucatán, zonas aledañas, y, en consecuencia, el SAR, existe una baja intensidad sísmica (Morales 2004, Zavala et al. 2005), como se puede observar en la siguiente figura.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



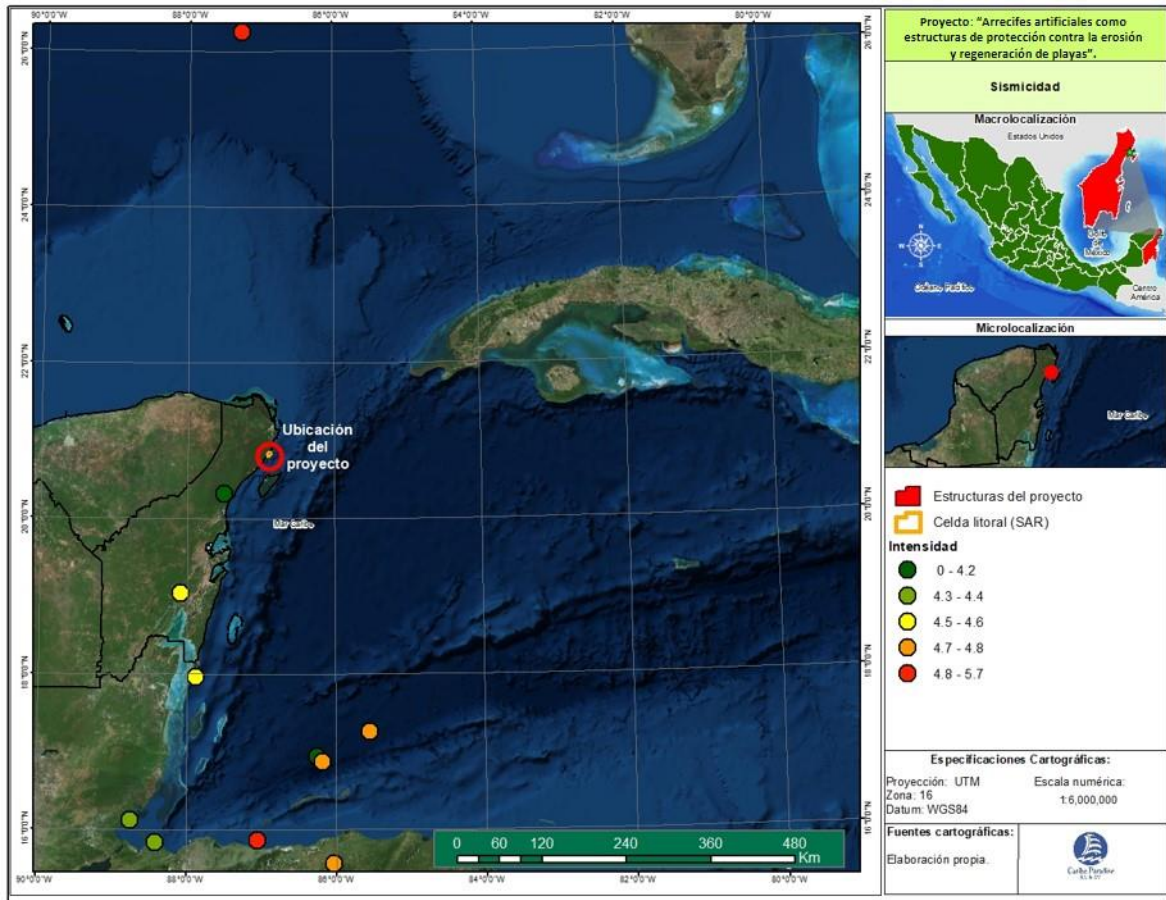
**Figura 27.** Regionalización sísmica en el Sistema Ambiental Regional. Fuente: Servicio Sismológico Nacional.

Como prueba de lo mencionado en el párrafo anterior, de acuerdo al Servicio Sismológico Nacional, del año 2006 a la fecha, se han registrado 11 sismos en Quintana Roo de baja intensidad, y de estos, únicamente uno (sombreados en la siguiente tabla) fue el que ocurrió próximo al Sistema Ambiental Regional del proyecto.

**Tabla 6.** Fenómenos sismológicos registrados en el periodo 2000 a la fecha. Las filas sombreadas son los sismos ocurridos más próximos al área del Sistema Ambiental Regional del proyecto.

N°	Intensidad	Fecha	Ubicación	Coordenadas	
				X	Y
1	4.6	10 junio 2002	60 km al sur de Felipe Carrillo Puerto.	19.04	-88.08
2	4.5	21 junio 2005	76 km al sureste de Chetumal.	17.96	-87.87
3	5.7	10 septiembre 2006	555 km al norte de Isla Mujeres.	26.25	-87.26
4	4.2	15 marzo 2009	278 km al sureste de Chetumal.	16.94	-86.25
5	4.8	10 diciembre 2011	289 km al sureste de Chetumal.	16.87	-86.18
6	4.7	3 mayo 2012	322 al sureste de Chetumal.	17.26	-85.54
7	4.4	11 mayo 2012	299 km al sur de Chetumal.	15.83	-88.41
8	5.4	10 abril 2013	339 km al sureste de Chetumal.	15.86	-87.05
9	4.7	24 agosto 2013	405 km al sureste de Chetumal.	15.56	-86.03
10	4.3	13 enero 2014	267 km al sur de Chetumal.	16.12	-88.74
11	4.2	11 enero 2015	56 km al suroeste de Playa del Carmen.	20.31	-87.50

Fuente: Servicio Sismológico Nacional. <http://www.ssn.unam.mx/>



**Figura 28.** Sismos próximos al Sistema Ambiental Regional. Fuente: Servicio Sismológico Nacional.

#### IV.2.1.3.4 Susceptibilidad de la zona por tsunami

Un tsunami es un evento que involucra un grupo de olas de gran energía y tamaño variable que se producen cuando algún fenómeno (e.g., sismo, volcán, detonación submarina) desplaza verticalmente una gran masa de agua. En el país, la mayor parte de los tsunamis se generan por sismos que ocurren “en el contorno costero del Océano Pacífico, en la zona de subducción entre las placas de Cocos y Rivero bajo la placa norteamericana” (CENAPRED 2016).

El Sistema Ambiental Regional del proyecto, se encuentra en el Mar Caribe, y la susceptibilidad de que el sistema sea afectado por un tsunami es muy remota o

nula, ya que se encuentra a una distancia considerable del área generadora de sismos del país.



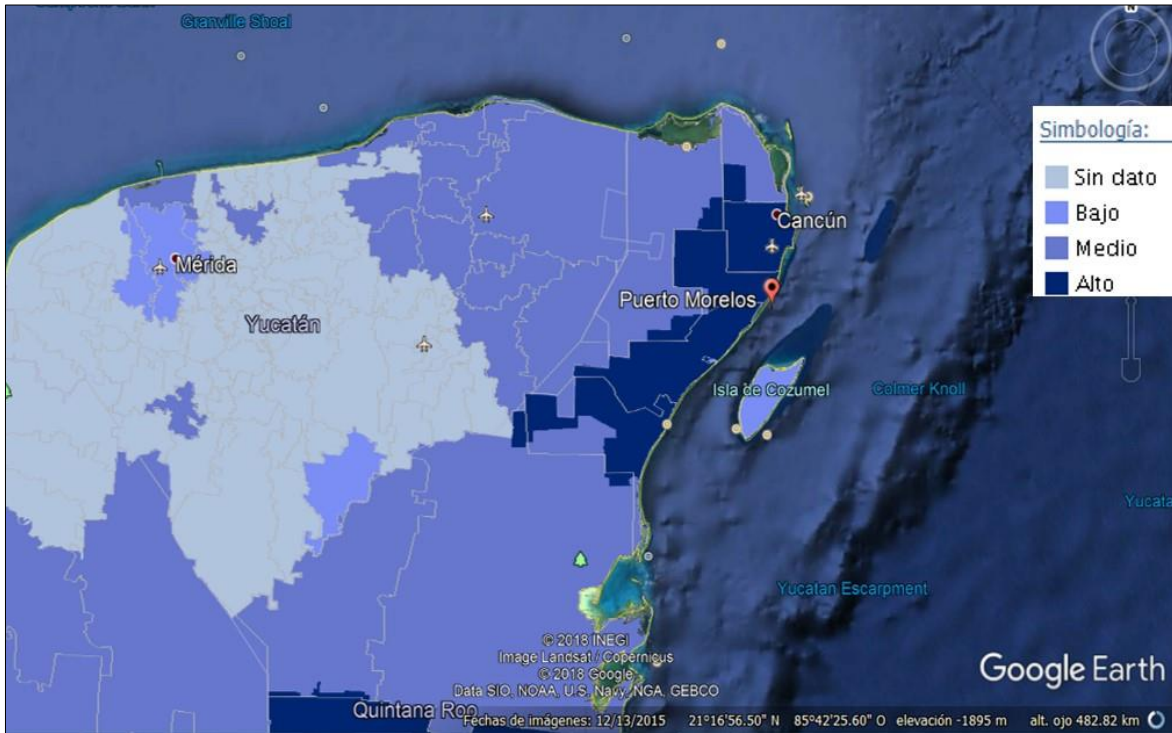
**Figura 29.** Representación de peligro de tsunamis en México. Fuente: CENAPRED 2016.

### IV.2.1.3.5 Amenaza por inundaciones

El Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar, en su artículo 4º define a la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) como un área que en un plano horizontal presenten un ángulo de inclinación de 30 grados o menos. Asimismo, cuando las costas carezcan de playas y presente formaciones rocosas o acantilados, la ZOFEMAT se determina dentro de una faja de 20 metros contigua al litoral marino, únicamente cuando la inclinación en dicha faja sea de 30 grados o menor en forma continua.

El Sistema Ambiental Regional del proyecto, en su porción oeste, incluye parte de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales. De acuerdo con CENAPRED (2007), dicha zona sería propensa a sufrir inundaciones, las cuales se producen por intrusión del mar durante las tormentas tropicales o sistemas ciclónicos que generan fuertes vientos y mareas de tormenta que hacen que el nivel del mar se aproxime a dichos sitios.





**Figura 30.** Grado de riesgo por inundaciones por municipio, escala: 1:1000000. Fuente: CENAPRED (2007).

#### IV.2.1.3.6 Riesgo por erosión

Como se mencionó en el apartado anterior, **el Sistema Ambiental Regional** del proyecto, en su porción oeste, incluye parte de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales. De acuerdo con Guido *et al.* (2009), dicho sistema **es propenso a sufrir erosión costera** y sus causas son tanto naturales (interacción de procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera) como antropogénicas (ocupación de la duna litoral por parte de particulares, construcción desordenada de obras de protección).

De manera específica, la Zona Federal Marítimo Terrestres contenida al oeste del Sistema Ambiental Regional se ha visto deteriorada con el paso del tiempo por la construcción de infraestructuras portuaria. En primer lugar, se tuvo la construcción (inicialmente de madera) y modernización del **Muelle Fiscal** entre la década de los 60’s y 70’s del siglo pasado. Dicha construcción perpendicular a la línea de costa, intersecta y provoca la deposición de arena (acreción) hacia el norte de la misma,



mientras que al sur causa una erosión pronunciada, la cual se ha ido agravando a lo largo de los años.



**Figura 31.** Vista satelital que muestra la erosión y acreción de la playa producida por la presencia del Muelle Fiscal. Fuente: Google Earth (2006).



**Figura 32.** Vista del Muelle Fiscal (noviembre 2018). Fotografía: C. Delgado.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Asimismo, en la década de los 70’s del siglo pasado, se amplió el canal de navegación. Para habilitarlo y darle mayor calado, se extrajeron rocas que se colocaron del lado oriental del canal. Entre el canal de navegación y la línea de costa, muchas de ellas han salido por marejadas rutinarias, así como por el Huracán Wilma y quedaron depositadas en la barra arenosa.



**Figura 33.** Rocas extraídas para ampliar el canal de navegación que fueron arrastradas por marejadas rutinarias hacia la barra arenosa.



**Figura 34.** Arriba: vista actual del canal de navegación. Abajo: circulación de una embarcación a través del canal de navegación (noviembre 2018). Fotografías: C. Delgado.

Por otra parte, en 1987 inició la construcción del Puerto de pescadores a cargo del gobierno del estado, el cual, antes de ser terminado fue destruido por el huracán Gilberto en 1988, y finalmente abandonado, quedando únicamente el espigón de 300 metros conocido como el **Muelle de Cubos**. Con la presencia de este **Muelle de Cubos**, se estableció una celda de afectación que interrumpe las corrientes y los flujos de arena, tanto de sur a norte como de norte a sur.



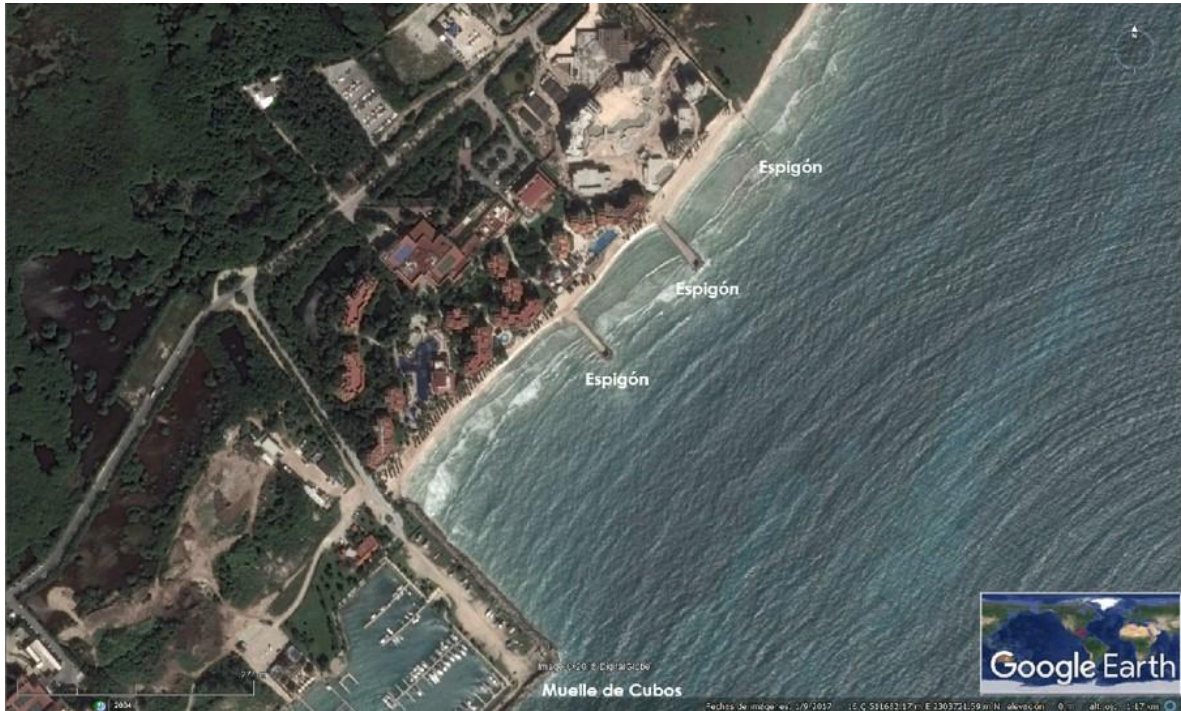


**Figura 35.** Arriba: vista aérea del Muelle de Cubos (INEGI, octubre 1987); abajo: vista terrestre del Muelle de Cubos (noviembre 2018). Fotografía: C. Delgado.



**Figura 36.** Fotografías aéreas que abarcan la celda confinada entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos (INEGI, octubre 1987).

Debido a la **erosión de playa** producida en la celda confinada entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos (1,680 m), los propietarios de los diferentes predios en la zona, intentaron implementar sus propias medidas de mitigación; por lo que a la fecha se tienen construidos tres pequeños **espigones** (de entre 60 y 70 m de largo) en las zonas marinas adyacentes a sus predios. De acuerdo con Google Earth, los espigones fueron construidos en la primer y segunda década del presente siglo. Esto parece haber mitigado en cierta medida el escape de arena de la celda confinada.



**Figura 37.** Espigones construidos en diferentes años en la zona marina dentro del Sistema Ambiental Regional del proyecto. Fuente: Google Earth (2017).





**Figura 38.** Espigones construidos en diferentes años en la zona marina dentro del Sistema Ambiental Regional del proyecto (noviembre 2018). Fotografías: C. Delgado.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

Con el fin de determinar las tasas de erosión/acreción, se realizó un análisis de la evolución de línea de costa (Anexo II.1) en el periodo de 2004 a 2017, con el que se evaluó el desplazamiento de la costa en la época posterior a la construcción del Hotel asociado al proyecto, en la cual la dinámica natural de la playa pudo verse afectada por la intervención humana.

El análisis de línea de costa se limita a la región definida por la celda litoral que engloba la zona de proyecto, comprendida entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos, pues estas estructuras perpendiculares a la costa definen en este tramo de playa una región sedimentológicamente aislada de las adyacentes.



**Figura 39.** Fotografía aérea con dron que abarcan la celda confinada entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos, la cual forma parte del Sistema Ambiental Regional del proyecto (E. Díaz, agosto 2018).

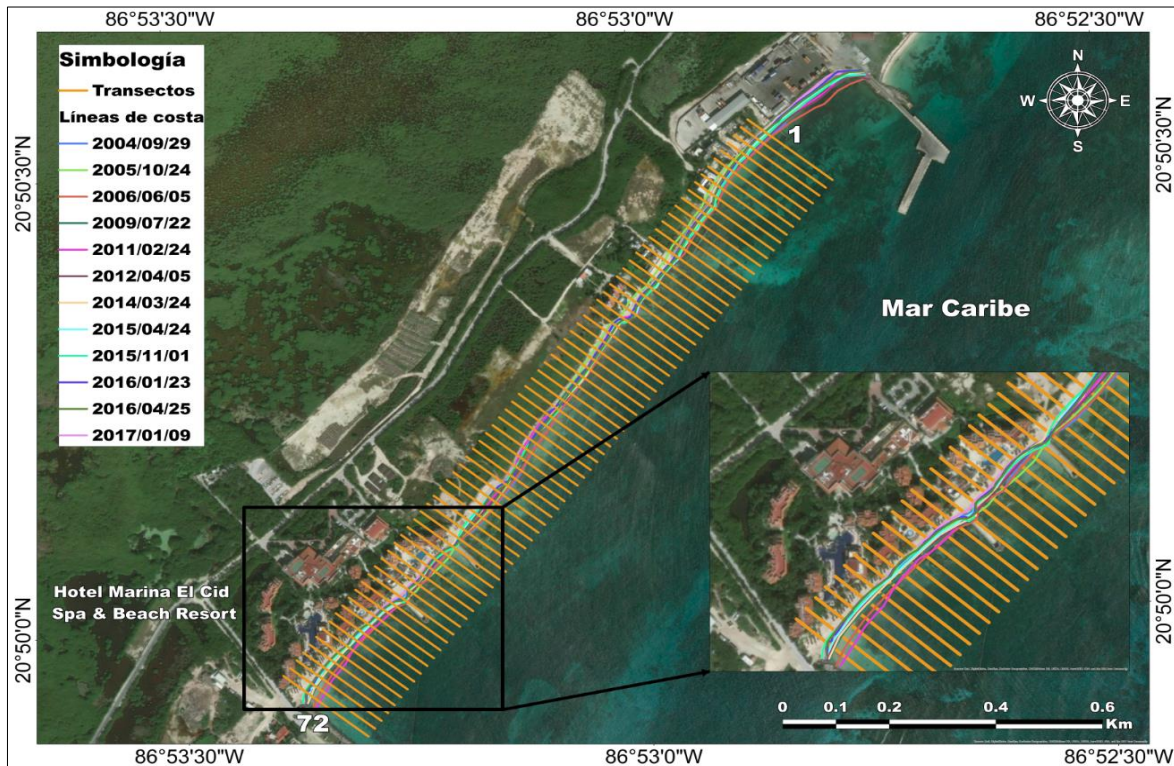
El análisis de evolución de la línea de costa se realizó a partir de 12 imágenes satelitales obtenidas de Google Earth. La fecha a la que pertenecen estas imágenes viene incluida en la tabla siguiente.

**Tabla 7.** Imágenes satelitales analizadas en el periodo de 2004 a 2017 (Anexo II.1).

Número de imagen	Fecha
1	29 de septiembre de 2004
2	24 de octubre de 2005
3	5 de junio de 2006
4	22 de julio de 2007
5	24 de febrero de 2011
6	5 de abril de 2012
7	24 de marzo de 2014
8	24 de abril de 2015
9	1 de noviembre de 2015
10	23 de enero de 2016
11	25 de abril de 2016
12	9 de enero de 2017

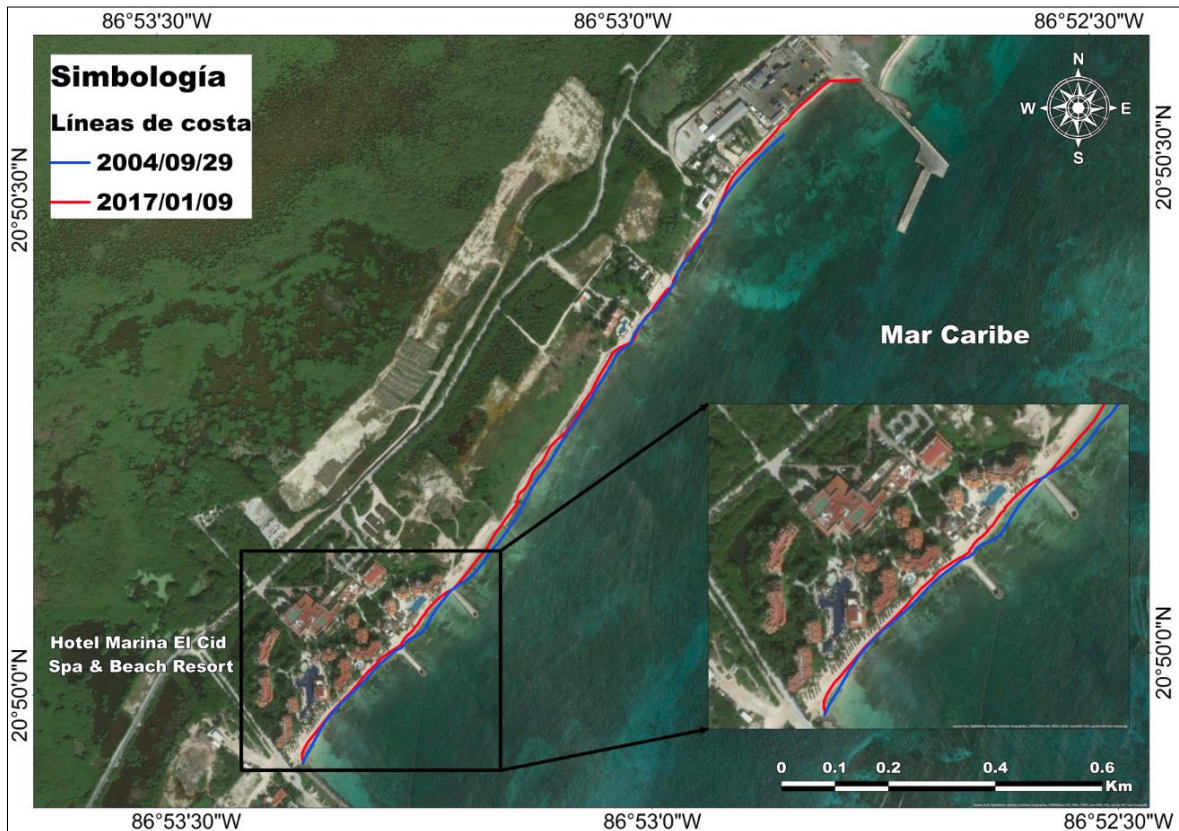
Las tasas de cambio fueron estimadas en 72 transectos perpendiculares a la costa, separados 20 m, en una extensión aproximada de 1.5 km. Los transectos fueron numerados del 1 al 72; el transecto 1 situado en el límite norte (junto al Muelle Fiscal) y el 72 en el sur (al norte del Muelle de Cubos).





**Figura 40.** Líneas de costa digitalizadas y transectos generados.

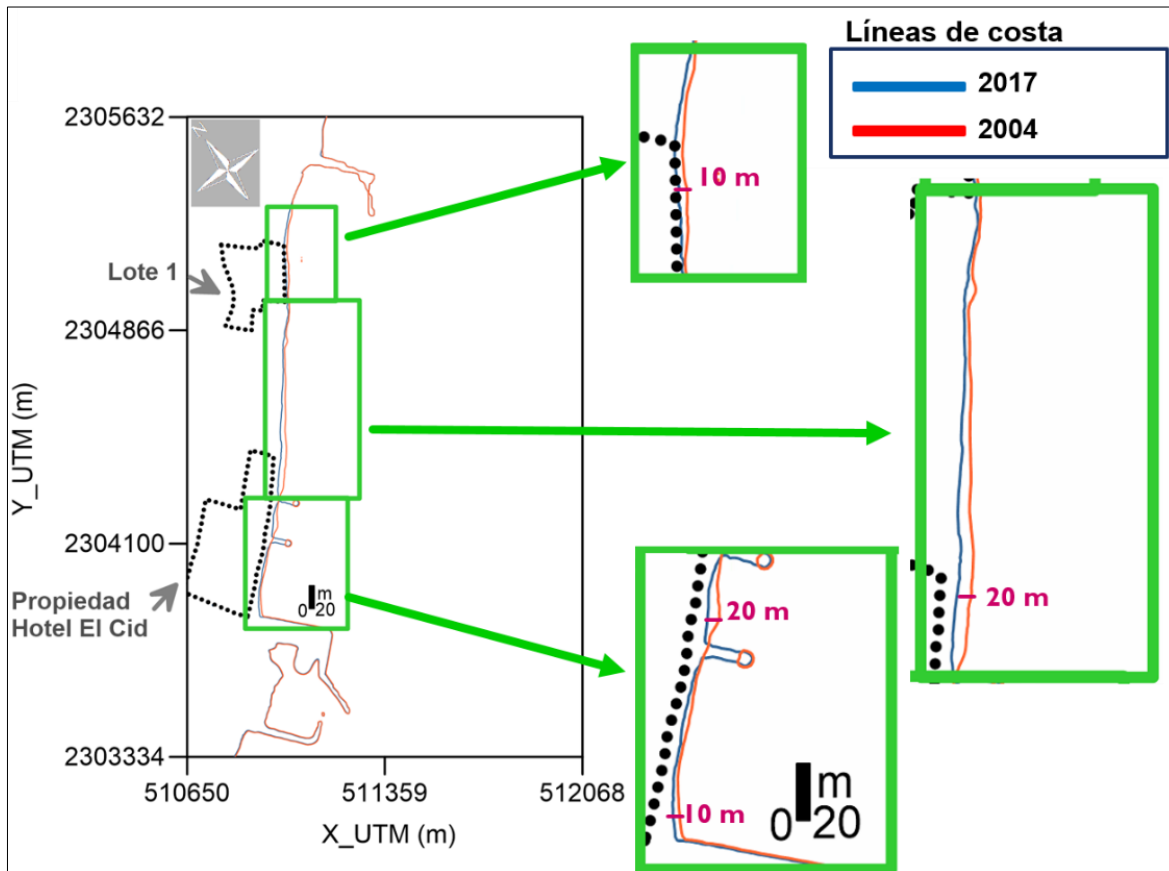
En la figura siguiente se puede observar el cambio de la línea de costa en los distintos periodos intermedios, entre los que destaca la mayor variabilidad de la posición de la costa en la zona próxima al Muelle de Cubos, en particular, el retroceso que tuvo lugar entre el 24 de febrero de 2011 y el 5 de abril de 2012, de hasta 30 m.



**Figura 41.** Comparación de las líneas de costa de 2004 y 2017: vista en planta.

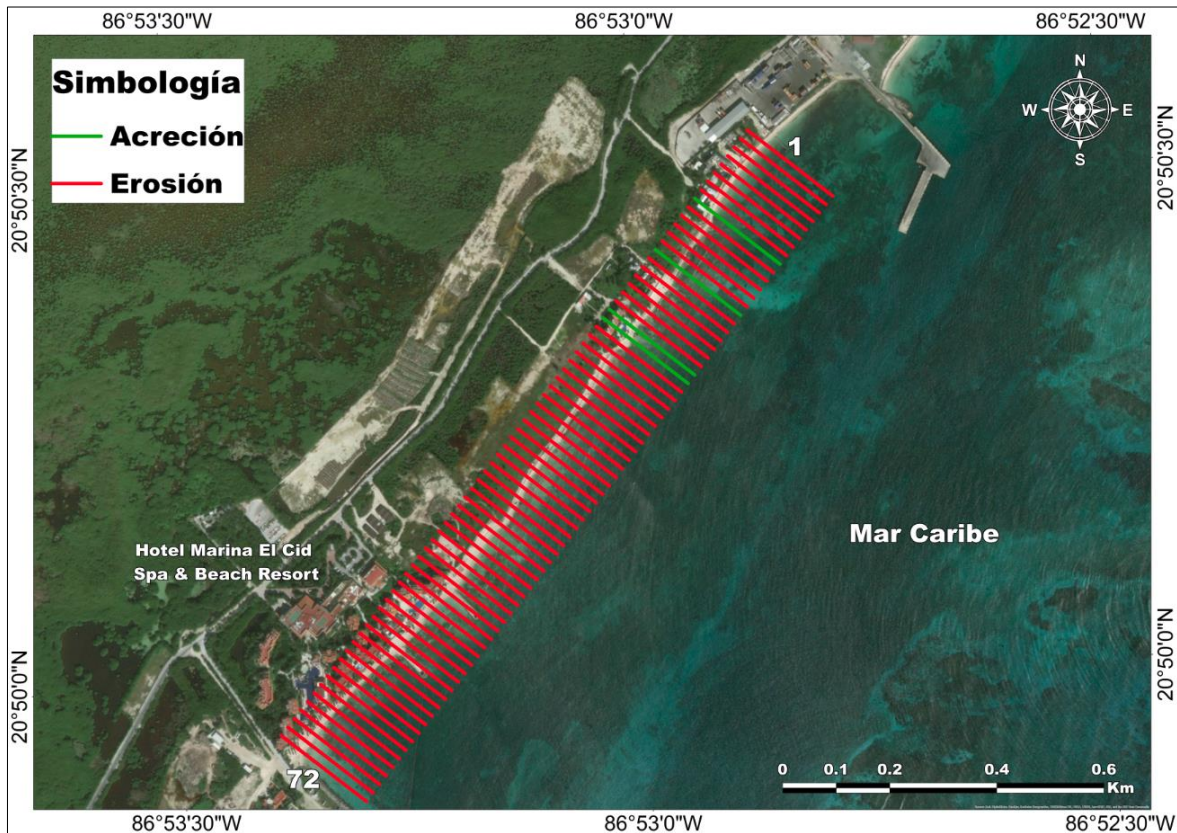
En la zona de proyecto, el retroceso medio de la costa de 2004 a 2017 es de 10 m, con valores máximos en torno a 20 m en la región ocupada por los espigones instalados en la zona marina frente al hotel asociado al proyecto (figura siguiente).





**Figura 42.** Comparación de las líneas de costa de 2004 y 2017: detalle en zona del proyecto.

La comparación entre las líneas de costa correspondientes a las fechas inicial y final del periodo de análisis (29 de septiembre de 2004 y 9 de enero de 2017), muestra **un retroceso en prácticamente toda el área, salvo en cuatro de los transectos situados en la zona norte de la región**, resaltados en color verde en la siguiente figura.



**Figura 43.** Cambio de la línea de costa en el periodo 2004–2017 (métodos EPR y NSM): en verde, acreción; en rojo, erosión.

El análisis anterior demuestra que la playa entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos se encuentra en proceso de erosión, detonado por la infraestructura portuaria construida por el gobierno estatal antes de 1988 y la construcción de los espigones en fechas recientes. Las principales afectaciones que se observan son:

- Deflexión de la corriente litoral que va de norte a sur.
- Modificación de la dinámica de sedimentos, provocando acreción al norte del Muelle Fiscal y erosión al sur del Muelle Fiscal, ya que los espigones retienen el transporte de sedimentos interrumpiendo el balance y la distribución natural y acentuando el déficit en las zonas de playa que quedan entre ellos y justo al lado de la marina.
- Aislamiento de un segmento de 1,680 metros lineales del litoral formando una celda de afectación.
- Erosión continuada en la celda litoral aislada.

- Transporte de la arena desde la playa emergida a la zona del canal de navegación.
- Disminución continuada de la playa emergida.

En vista de lo anterior, los espigones, pensados originalmente para favorecer la estabilidad de la playa, dada las condiciones sedimentológicas e hidrodinámicas actuales, están deteriorando la playa, en lugar de mantenerla saludable. Por lo tanto, **se justifica la necesidad de actuar para proteger la zona costera objeto del proyecto**. De esta forma se proporcionará un espacio de playa seca más adecuada para el turismo.

#### IV.2.1.4 Hidrología

Aunque la parte continental no forme parte del Sistema Ambiental Regional (SAR) marino del presente proyecto, a continuación, se realiza una descripción de la hidrología superficial y subterránea adyacente al polígono del SAR, con el fin de describir si existen desembocaduras de ríos u ojos de agua provenientes del continente y que pudieran verse afectados por el desarrollo del proyecto.

##### IV.2.1.4.1 Hidrología superficial

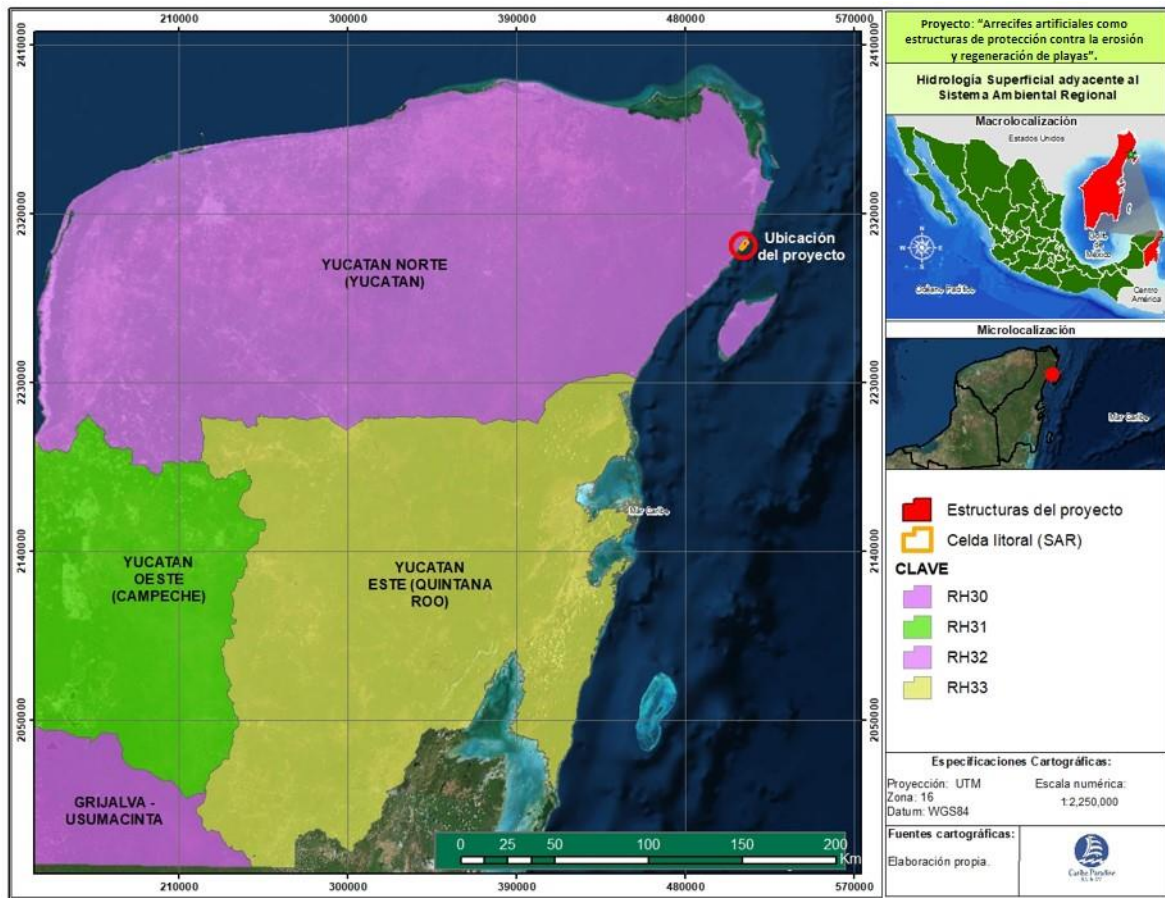
La parte continental adyacente al Sistema Ambiental Regional del proyecto forma parte de un tipo de **cuenca arreica**, la cual es un tipo de cuenca hidrográfica que no posee ningún tipo de conexión aparente con ríos o flujo de agua que muevan el líquido estancado dentro de la propia cuenca. En este sentido, el agua se evapora del terreno o se filtra por debajo de la tierra. Este tipo de cuencas forman concentraciones de agua en forma de lagos pequeños que se filtran por debajo de la superficie y se concentran debajo de la tierra.

La parte continental adyacente al Sistema Ambiental Regional forma parte de la **Región Hidrológica (RH) 32 Yucatán Norte**; no existen corrientes de agua superficial, a causa de la ausencia de relieve prominente y de la alta permeabilidad del substrato geológico, consistente principalmente de roca caliza, y al poco espesor del suelo. Esto origina cenotes y corrientes subterráneas (INEGI 2002).

Al no poderse desarrollar las corrientes superficiales, la porción del agua de precipitación que resta a la evaporación es absorbida por las plantas y suelos, y el

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

resto satura el terreno, colma el bajo relieve y se infiltra en el subsuelo, dando origen a las aguas subterráneas en cavernosidades de desarrollo muy complicado, trabajo efectuado por las propias aguas infiltradas y regidas según las zonas de menor resistencia de las rocas y por las fracturas existentes: favorecido además este fenómeno por el pequeño espesor de los suelos y la espesa cobertura vegetal; de manera que todos los sitios que reciben la lluvia, constituyen zonas de recarga del acuífero, es decir toda la superficie del estado de Quintana Roo. Asimismo, el relieve plano con muy poca elevación sobre el nivel del mar que, aunado con la cercanía a este último, ocasiona que se relacionen también con la influencia de las mareas (INEGI 2002).

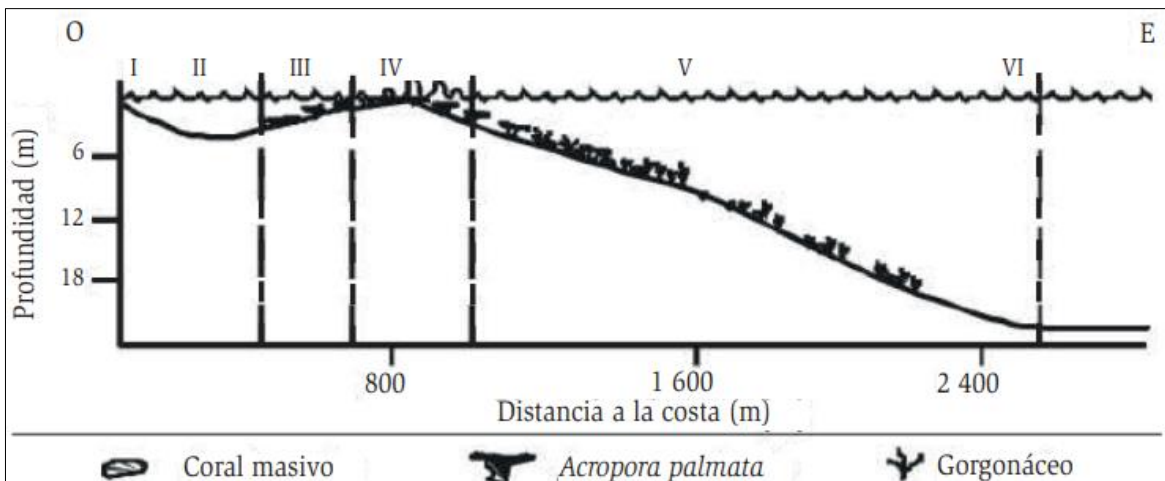


**Figura 44.** Hidrología superficial adyacente al Sistema Ambiental Regional del proyecto.



#### IV.2.1.4.2 Hidrología subterránea

La parte continental adyacente al Sistema Ambiental Regional del proyecto forma parte de un acuífero cárstico poroso somero desarrollado en el Cenozoico. La zona alberga al ecosistema del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (PNAPM), la cual presenta una serie de zonas bien diferenciadas con respecto a su distribución: I. Orilla; II. Laguna arrecifal, donde se localizan los **ojos de agua**; III. Zona oeste o posterior; IV. Cresta arrecifal; V. Zona este o frontal; VI. Plataforma arenosa. O = Oeste; E = Este (González *et al.* 2018).



**Figura 45.** Corte longitudinal del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Fuente: Instituto Nacional de Ecología (2000); modificado de Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez (1998).

De acuerdo con González *et al.* (2018), **el acuífero de Puerto Morelos**, Quintana Roo, presenta aguas predominantes bicarbonatadas-cálcicas. Mientras que los ojos de agua presentan las características típicas del agua de mar al ser del tipo clorurada-sódica. Este acuífero es un sistema vulnerable que muestra ya afectaciones a la calidad del agua debido a las malas prácticas en la disposición de residuos. Las **principales fuentes de contaminación para el agua subterránea son: a) la disposición inadecuada de aguas residuales y b) tiraderos a cielo abierto.** Las aguas residuales de la población de Puerto Morelos son vertidas sin tratar en fosas sépticas o en pozos someros clausurados; de esta manera, son almacenadas inadecuadamente sin ninguna medida de impermeabilización o de tratamiento que pueda reducir la carga de contaminantes de origen orgánico e inorgánico. La

presencia de fosas sépticas mal construidas y el uso de pozos someros en contacto directo con el acuífero propician la contaminación del agua subterránea. Los residuos sólidos urbanos procedentes de la población, la industria y los servicios generan un problema a la hora de gestionarlos y disponer de ellos de manera adecuada y correcta. Puerto Morelos contaba con un basurero municipal que fue un tiradero a cielo abierto que recibió gran variedad de residuos y desechos, sobre una roca caliza carstificada, ausente de impermeabilización en la base y cercano al nivel freático. El basurero fue clausurado en noviembre de 2009 (González *et al.* 2018).

Una vez en el acuífero, los contaminantes disueltos (*i.e.*, residuos fecales, materia orgánica, nitrógeno, compuestos químicos, detergentes, así como metales pesados y bacterias) fluyen a través del laberinto de cuevas subterráneas, y pueden descargar al mar, donde se encuentra el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos (PNPMA) y el Sistema Ambiental Regional del proyecto, lo que podría afectar el equilibrio natural del ecosistema marino (Gondwe 2010, González *et al.* 2018). La capacidad de dispersión de contaminantes ha sido modelada frente a la costa de Playa del Carmen, obteniéndose velocidades superficiales con magnitudes mayores a 1 m/s, lo cual pone de manifiesto la rapidez con que migran los contaminantes disueltos en el agua (Carrillo Bribiezca 2008).

Así, **las aguas contaminadas** no solo **representan un serio riesgo** para la salud humana, sino también **para los extensos humedales costeros y los ecosistemas marinos, ya que la contaminación marina puede darse tanto a través de las aguas que fluyen directamente de los humedales, como de los manantiales que descargan de modo directo en el mar Caribe** (González *et al.* 2018).

En consecuencia, en el **Sistema Ambiental Regional del proyecto se pueden esperar condiciones de contaminación** similares a las reportadas por González *et al.* (2018), siendo sus posibles causas la disposición inadecuada de las aguas residuales y los tiraderos a cielo abierto.

#### IV.2.1.4.3 Hidrología marina

El **Sistema Ambiental Regional del proyecto se encuentra ubicado en las aguas del Mar Caribe**, el cual pertenece al océano Atlántico y está situado al este de América Central (Zavala *et al.* 2005). Las aguas del mar Caribe se forman



principalmente a expensas de las del Océano Atlántico (Suárez y Rivera 1998). Estas aguas son cálidas, claras, menos salinas que las del Atlántico, circulan en sentido antihorario, biológicamente pobres y muy escasas en pesca, pero a la vez albergan uno de los ecosistemas más ricos del planeta (Morales, 2004, Zavala *et al.* 2005).

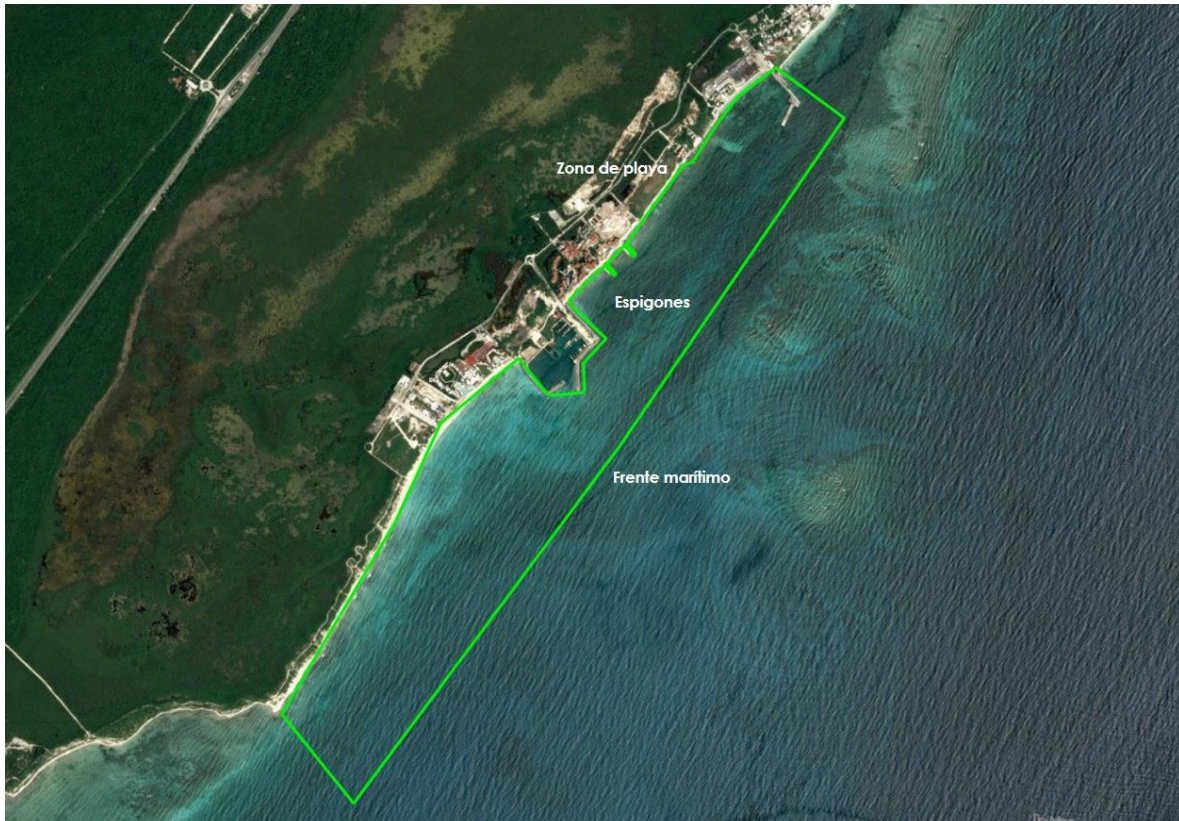
La **salinidad** superficial de la zona costera de Quintana Roo es del orden de 36 Unidades Prácticas de Salinidad (PSU) hasta una profundidad de 30-50 m. Por debajo de esta zona isohalina se encuentran aguas con salinidad superior (ca. 37 PSU), de origen subtropical (Suárez y Rivera 1998). Por otro lado, la **temperatura** superficial promedio oscila entre 27 y 28 °C. En la zona arrecifal frente a la porción central de Quintana Roo se han registrado valores medios de temperatura variables (25-31°C), con promedios menores en febrero (25.5 °C) y un incremento en marzo-mayo (28.5 °C). Los mayores valores ocurren en junio y julio (30.5 °C). En esta misma zona la salinidad varía de 32-36 PSU, la menor en febrero (32.3 PSU), la mayor en junio (35 PSU). Estos valores e intervalos podrían considerarse representativos para toda la costa de Quintana Roo en condiciones similares (Suárez y Rivera 1998).

Por otra parte, la composición del agua y el tipo de fondo del océano determinan su **color**. En océanos con poca productividad o escasa materia orgánica particulada o disuelta, las partículas reflejan longitudes de onda del espectro visible de la luz, por ello su color es azul. También es azul cuando son áreas profundas y los rayos del sol al entrar en el agua se dispersan (CCO 2016). En este sentido, las aguas del Mar Caribe, y, en consecuencia, del Sistema Ambiental Regional del proyecto, son muy escasas en sustancias y microorganismos flotantes, por ese motivo tiene esos colores azul turquesa intenso en sus aguas, que se oscurece en zonas de mayor profundidad alejado de las costas y se enverdece en zonas con vegetación en el fondo marino, consecuencia de algas y otra flora marina autóctona.

#### IV.2.1.4.3.1 Batimetría

Para determinar la profundidad marina en el frente marítimo y zona de playa del Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto, se realizó un levantamiento batimétrico. En primer lugar, se utilizó cartografía digital del programa Google Earth en la versión Pro, la cual sirvió de marco para la ubicación del SAR. En segundo lugar, se dividió al Sistema Ambiental Regional en tres zonas de trabajo: Zona 1:

correspondiente al frente marítimo; Zona 2: correspondiente a la zona de playa; y Zona 3: correspondiente a la zona de espigones.



**Figura 46.** División de zonas de trabajo en el sistema cartográfico Google Earth.

Con respecto a la profundidad marina se tiene que el Sistema Ambiental Regional (i.e., desde Punta Brava hasta el Muelle Fiscal) presenta valores que van de los 0 a los -10 metros sobre el nivel del mar (msnm), como se puede observar en la siguiente figura. En la parte este de todo el Sistema Ambiental Regional (SAR) la profundidad aumenta conforme se aleja de la playa; no obstante, en la parte norte del SAR, el mar se vuelve somero, con profundidades de -2 a -5 msnm; mientras que, en la parte sur del SAR, frente a la marina y hasta Punta Brava, se encuentran las mayores profundidades, las cuales van de -8 a -10 msnm.

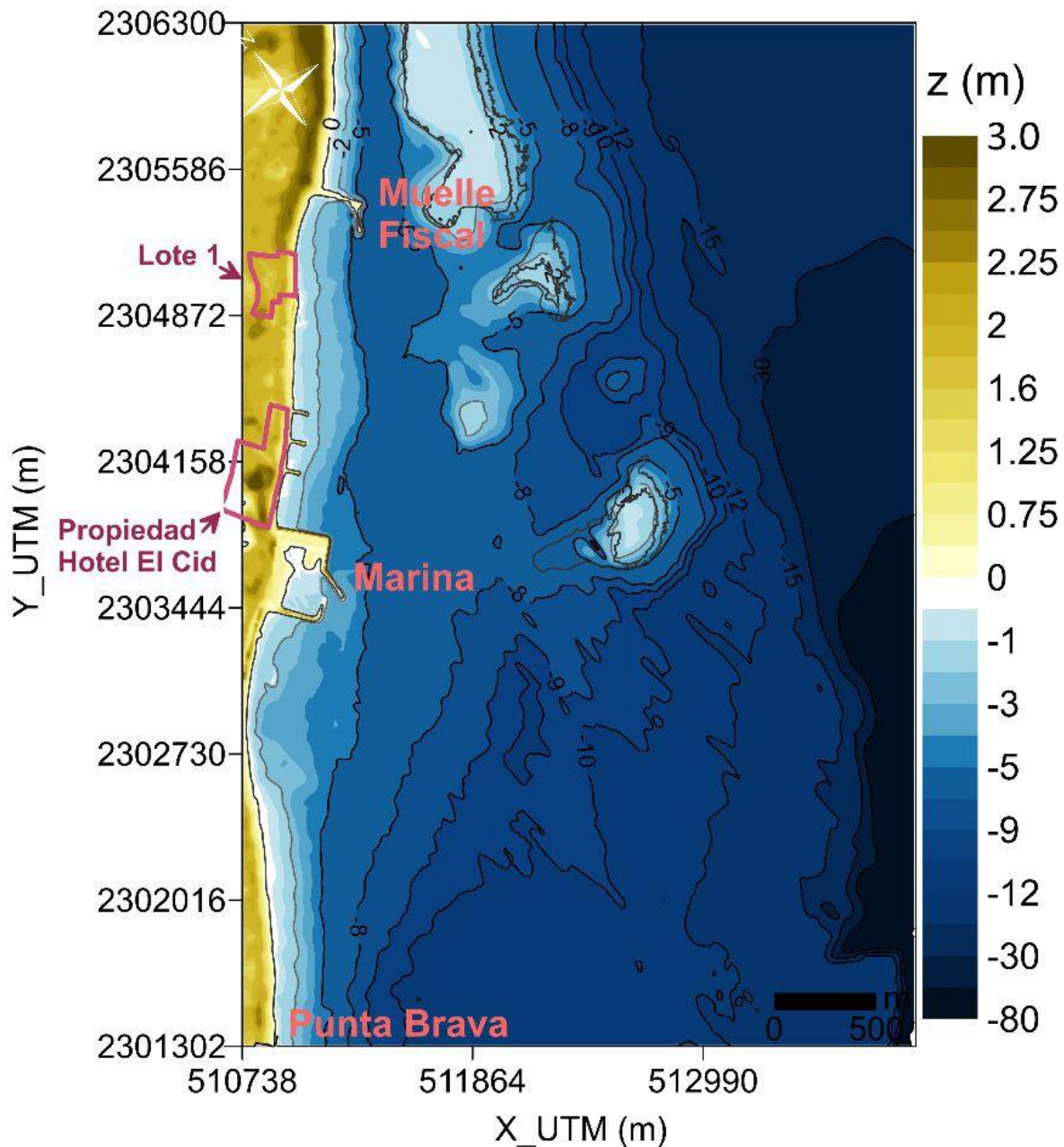


Figura 47. Batimetría en el Sistema Ambiental Regional (Anexo II.1).

#### IV.2.1.4.3.2 Viento

El **Sistema Ambiental Regional** del proyecto, se ubica en el océano tropical en el que soplan fuertemente los vientos Alisios (CCO 2016). Los vientos Alisios soplan en



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

los océanos Pacífico y Atlántico; se generan por un efecto convectivo global conocido como células climáticas de convección. Los vientos alisios se sitúan entre el ecuador y los trópicos, en la célula conocida como Célula de Hadley. En condiciones normales, la presión atmosférica en el ecuador es inferior a la de los trópicos, debido a su mayor temperatura, y, por lo tanto, el aire tiende a circular de norte a sur (en el hemisferio norte) y de sur a norte (en el hemisferio sur). Pero al combinarse con la rotación de la Tierra (efecto de Coriolis), la dirección real en que soplan es de noreste a suroeste en el hemisferio norte, y de sureste a noroeste en el hemisferio sur. Su velocidad es de unos 20 kilómetros hora (UPC 2018). De manera bibliográfica y de acuerdo con Suárez y Rivera (1998), en el Sistema Ambiental Regional del proyecto, en invierno, los vientos dominantes provienen del norte, mientras que el resto del año, provienen del sureste.

Asimismo, el viento se analizó a partir de la base de datos disponible en un punto frente al Sistema Ambiental Regional (SAR) (UTM X 552050.94 Y 2294560.32) a una distancia de 41 km de la línea de costa y profundidad superior a 45 m (figura siguiente). Esta base de datos contiene estados del periodo de 1948 a 2010 (62 años) (Anexo II.1).



**Figura 48.** Ubicación del punto (P) de la base de datos de oleaje.

A continuación, se representa las rosas de viento, las cuales en condiciones de calma o “no tormenta” muestran predominancia en el año, de viento procedente de direcciones este (E), este-noreste (ENE) y este-sureste (ESE), con velocidad de 5 a 8 m/s. Mientras que en condiciones de tormenta la dirección del viento sería primordialmente del noroeste con velocidad de 8 a 10 m/s. Estas condiciones de viento se pueden presentar en el Área de Estudio = Sistema Ambiental Regional (SAR) y Área del Proyecto (AP)

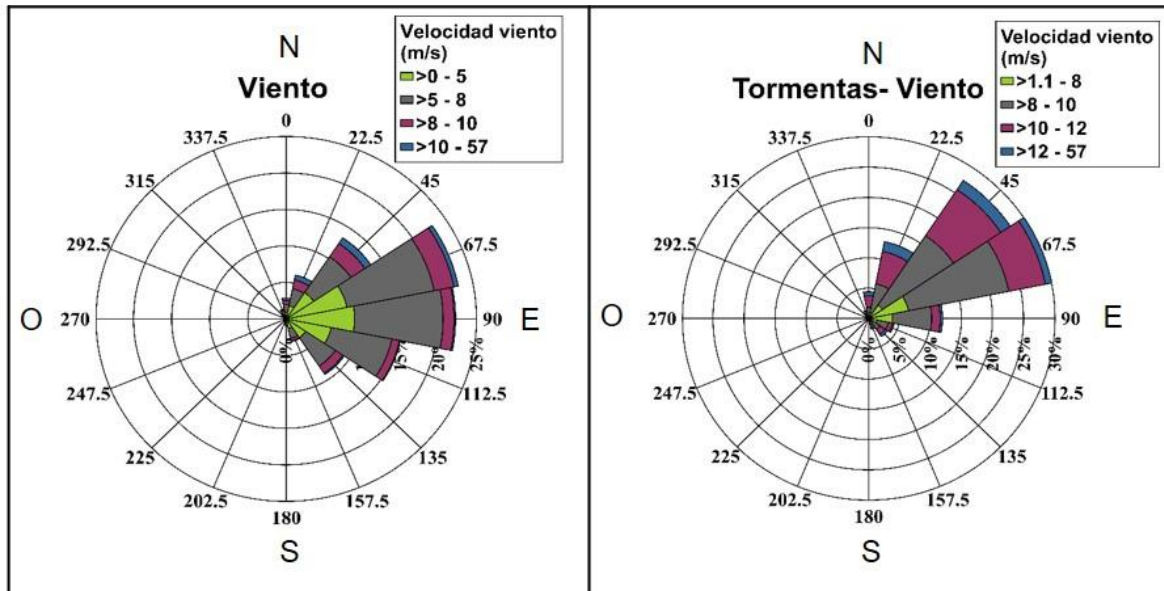


Figura 49. Rosas de viento. Izquierda: condiciones de calma o “no tormenta”; derecho: condiciones de tormenta.

#### IV.2.1.4.3.3 Oleaje

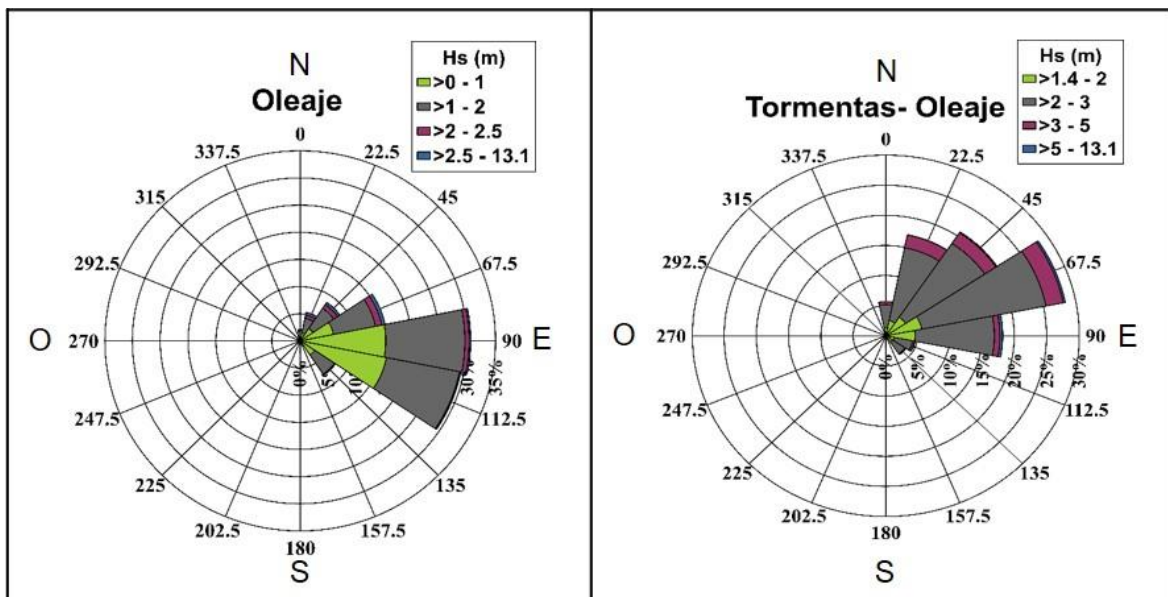
Las **olas** son el movimiento ondulatorio de la superficie del océano debido especialmente a los vientos. Vientos fuertes producen olas más grandes y anchas. Las olas mueven el agua, pero no la desplazan. Solo cuando la ola choca contra el fondo es cuando el movimiento se transforma en desplazamiento en la misma dirección de la ola (CCO 2016). Es importante resaltar que esta zona es altamente vulnerable a fenómenos climáticos extremos como tormentas tropicales y huracanes que son generadoras de oleaje y mareas de tormenta que pueden afectar a los ecosistemas costeros.

El oleaje se analizó a partir de la base de datos disponible en un punto frente al Sistema Ambiental Regional (SAR) (UTM X 552050.94 Y 2294560.32) a una distancia de 41 km de la línea de costa y profundidad superior a 45 m (Figura 48). Esta base de datos contiene estados del periodo de 1948 a 2010 (62 años) (ver Anexos II.1 y II.1.1).

A continuación, se representa las rosas de oleaje, donde se observa una altura de ola significativa inferior a 2 m (conocido como oleaje en calma o “no tormenta”) con direcciones del este y este-sureste. En cuanto a las tormentas, la rosa de oleaje

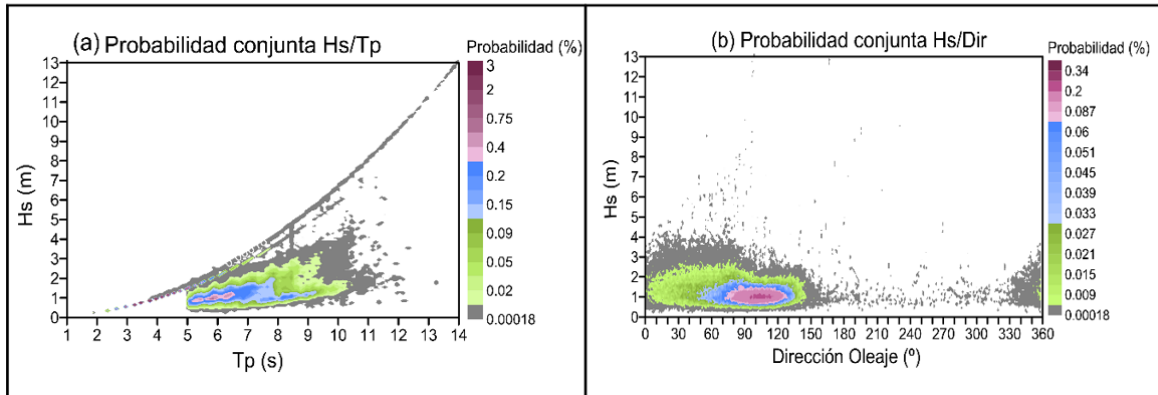


permite observar la presencia de tormentas típicas que caracterizan la región: nortes, representados principalmente por oleaje en dirección este-noreste; tormentas del este con oleaje procedente del este; suradas caracterizadas por oleaje del este-sureste y sureste; y, huracanes con oleaje más frecuente de dirección este.



**Figura 50.** Rosas de oleaje. Izquierda: condiciones de calma o “no tormenta”; derecha: condiciones de tormenta.

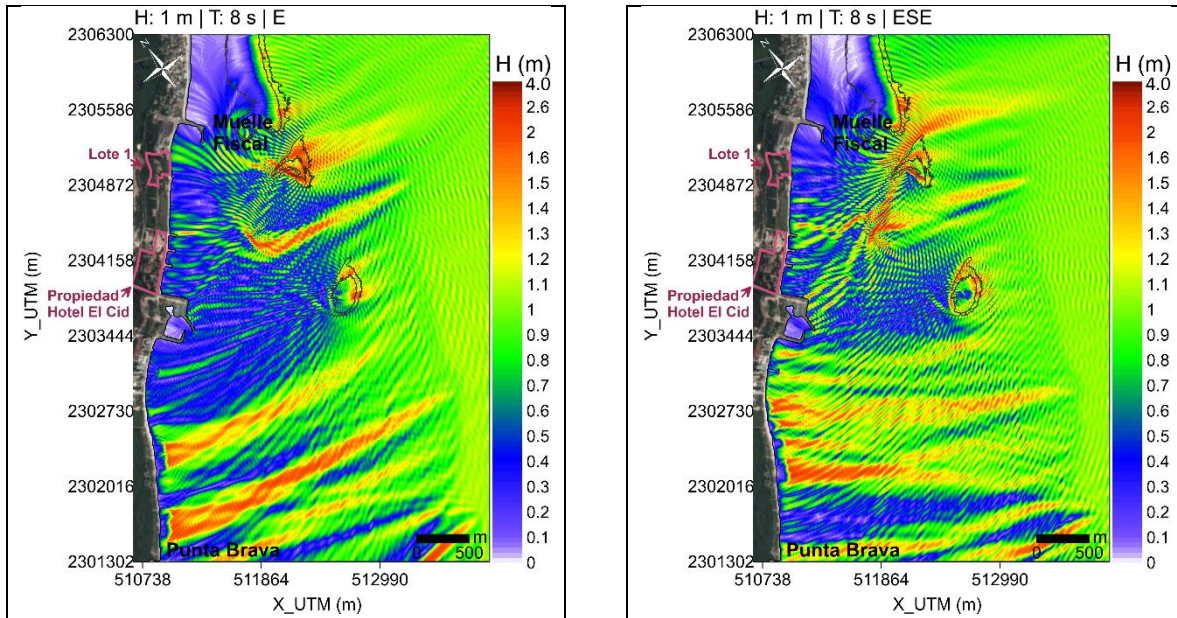
También se realizó el análisis de probabilidad conjunta de los parámetros del oleaje: **altura de ola = H (m)**; **periodo de oleaje = T (s)**; **dirección de procedencia del oleaje** (E = Este, N = Norte, O = Oeste y S = Sur); y, **sobreelevación del nivel del mar por marea de tormenta =  $\Delta\eta$  (m)**; con los que se determinaron siete **escenarios de oleaje** que pueden representar las características del oleaje por su frecuencia de ocurrencia. Para una explicación detallada sobre el método empleado para elaborar este análisis ver Anexo II.1.



**Figura 51.** Probabilidad conjunta de altura de ola (Hs), periodo de oleaje (Tp) y dirección del oleaje (Dir): (a) Probabilidad conjunta Hs/Tp; (b) probabilidad conjunta Hs/Dir.

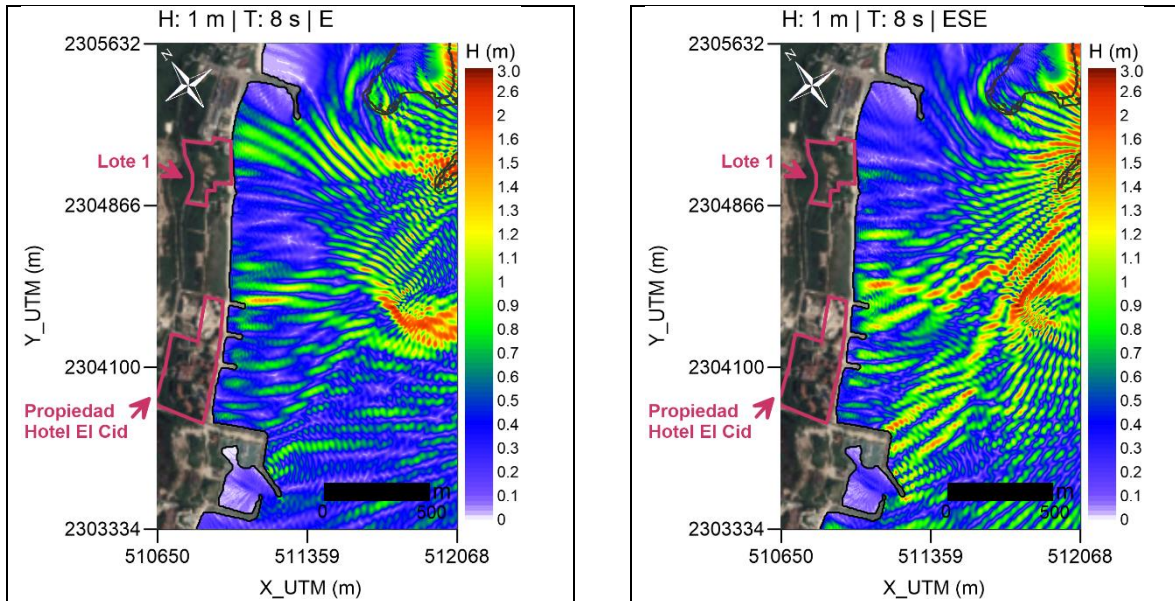
A continuación, se describen los resultados de los siete escenarios de simulación y se incluyen las figuras de cada escenario, tanto a nivel del Sistema Ambiental Regional como a nivel Área del Proyecto, este último, con el fin de mejorar la visualización del oleaje que mayor afectación se produce sobre la playa. Las figuras muestran colores que van de los fríos (morado, azul, verde) a los cálidos (rojo, naranja, amarillo), los cuales indican un incremento en la altura de ola, permitiendo identificar mediante los tonos cálidos, áreas de concentración de energía del oleaje (Anexos II.1 y II.1.1).

En un **escenario de calma o no tormenta**, la altura de las olas puede ser de 1 m, con un periodo de oleaje de 8 s y sin sobreelevación del nivel del mar independientemente de la dirección de procedencia del oleaje (E o ESE).



**Figura 52.** Resultados de propagación de la altura de ola en un escenario de calma o no tormenta en el Sistema Ambiental Regional del Proyecto con oleaje procedente del este (E) y del este sureste (ESE).

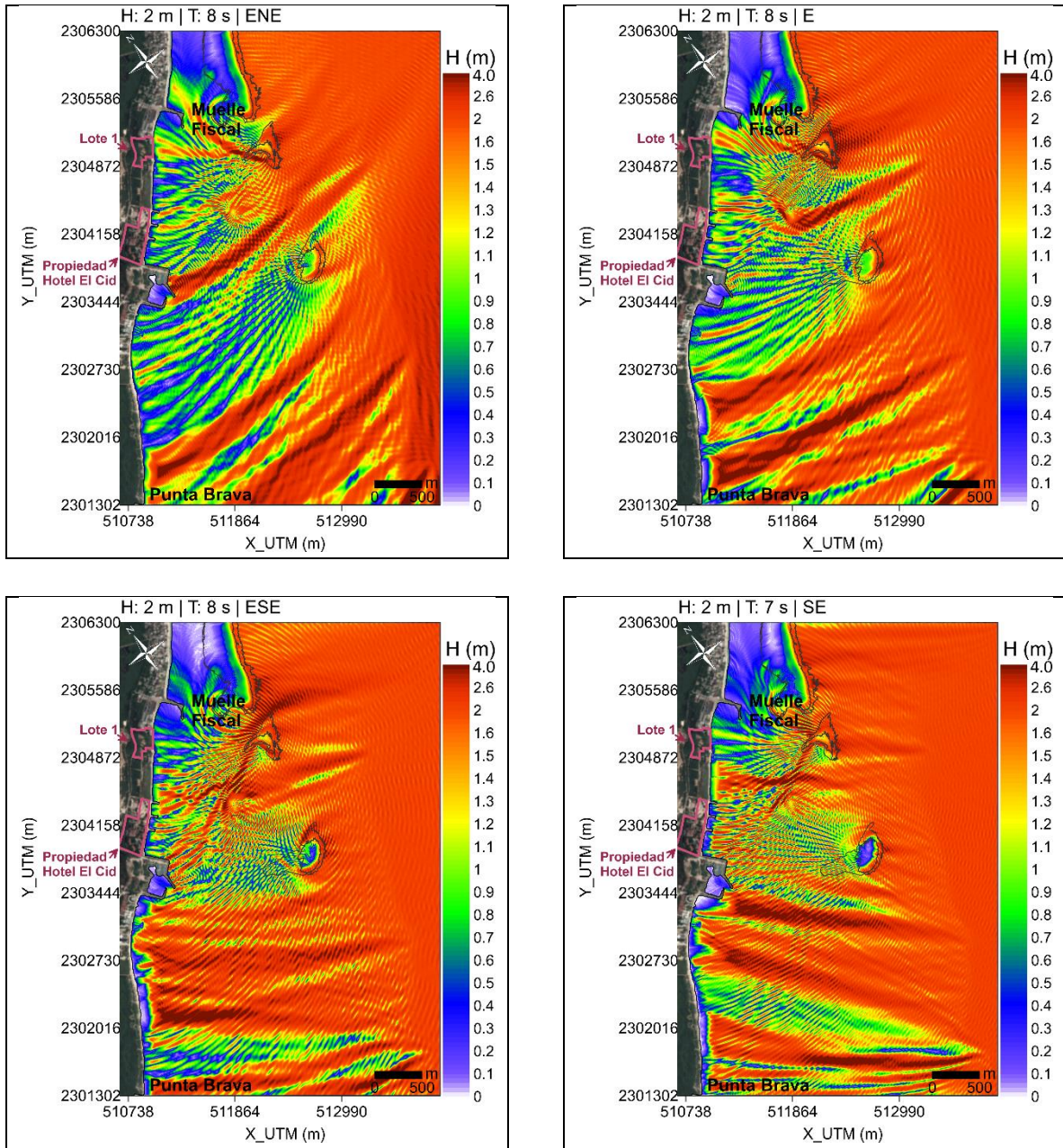
A nivel del área del proyecto, se puede observar que los espigones concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa provocando mayor transporte en sentido transversal y facilitando la pérdida de volumen de sedimento en la playa seca.



**Figura 53.** Resultados de propagación de la altura de ola en un escenario de calma o no tormenta en el Área del Proyecto con oleaje procedente del este (E) y del este sureste (ESE).

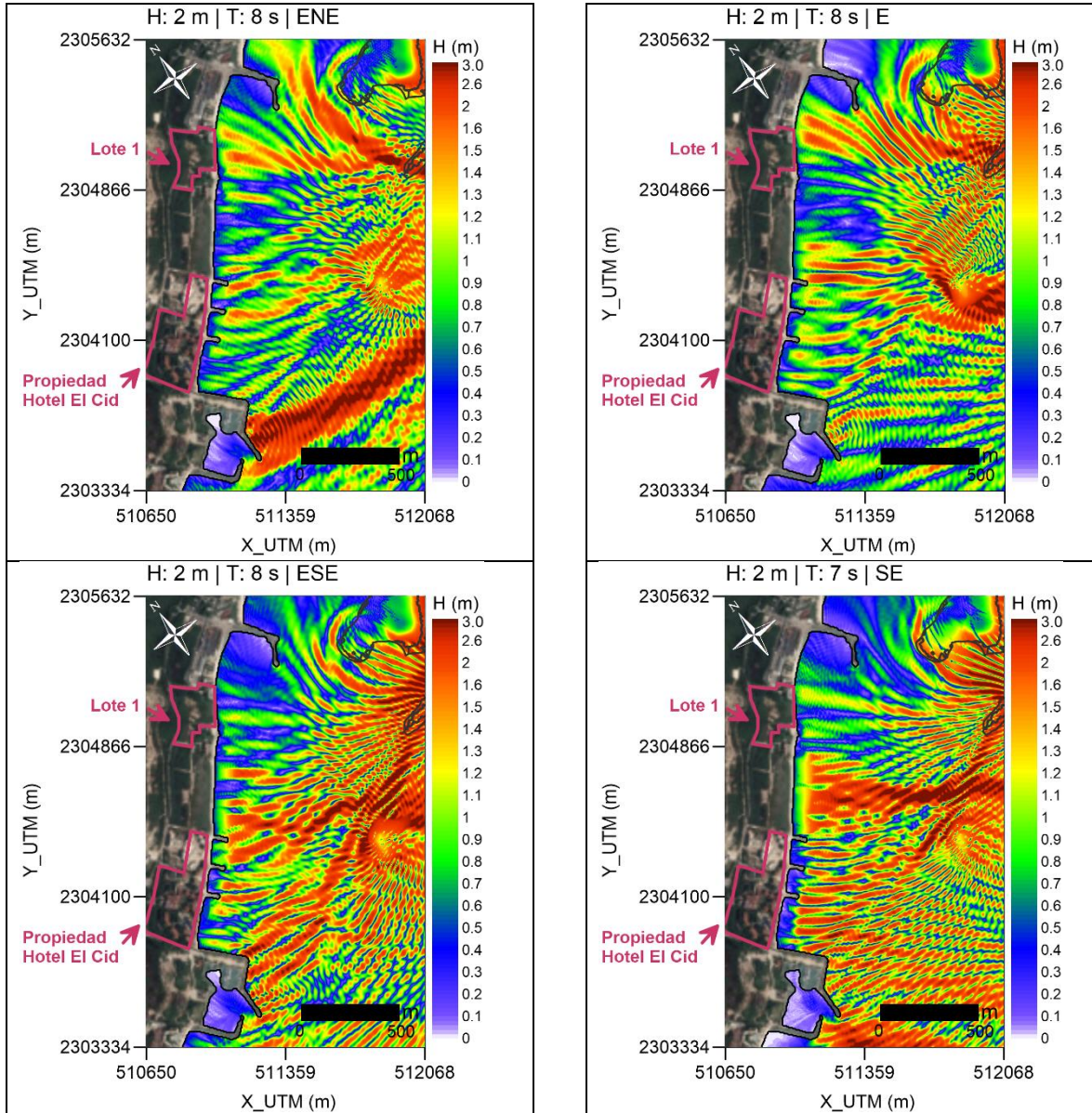
En un **escenario de tormentas**, la altura de las olas puede ser de 2 m, con un periodo de oleaje de 7 u 8 s y sin sobreelevación del nivel del mar en condiciones de: 1) Norte (dirección del oleaje ENE), 2) Tormenta del Este (dirección del oleaje E) y 3) Surada (dirección del oleaje ESE y SE).





**Figura 54.** Resultados de propagación de la altura de ola en un escenario en condiciones de Norte (ENE), Tormenta del Este (E) y Surada (ESE y SE) en el Sistema Ambiental Regional del Proyecto.

En este escenario de **tormentas**, a nivel del área del proyecto, también se puede observar que los espigones concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa.

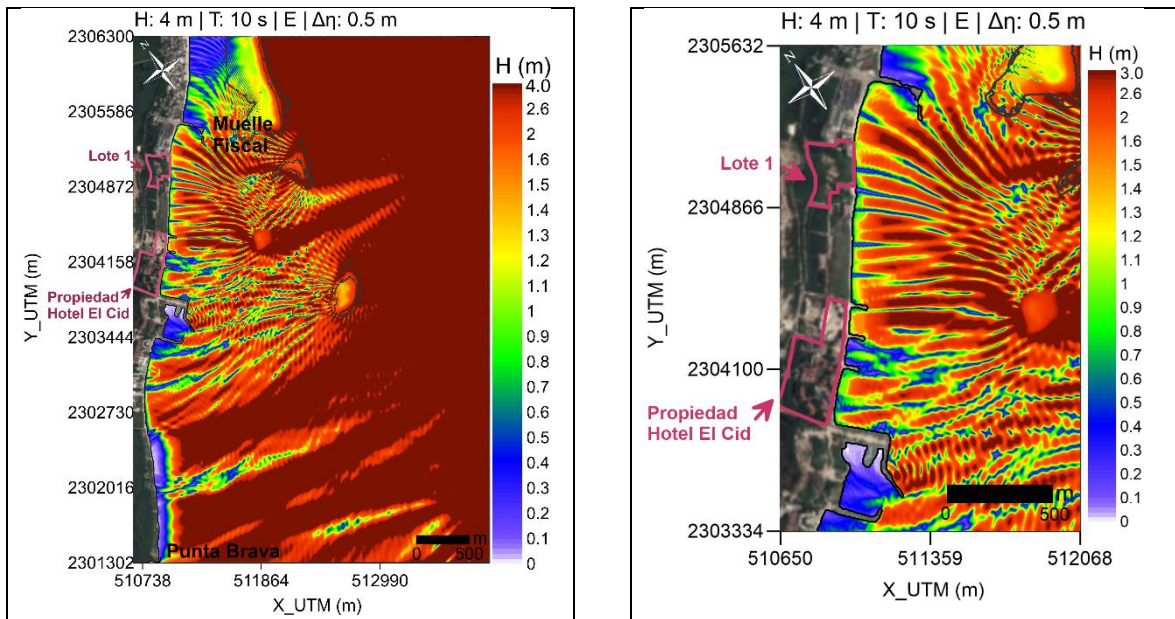


**Figura 55.** Resultados de propagación de la altura de ola en un escenario en condiciones de Norte (ENE), Tormenta del Este (E) y Surada (ESE y SE) en el Área del Proyecto.

En un **escenario de huracán**, la altura de las olas puede ser de 4 m, con un periodo de oleaje de 10 s y con sobre elevación del nivel del mar de 0.5 m ( $\Delta\eta$ ) con oleaje proveniente del este. En este escenario de **huracán**, a nivel del área del proyecto,



también se puede observar que los espigones, así como el Muelle Fiscal, el Muelle de Cubos y la Marina concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa.



**Figura 56.** Resultados de propagación de la altura de ola en condiciones de Huracán en el Sistema Ambiental Regional (izquierda) y Área del Proyecto (derecha).

A continuación, se incluye una tabla que sintetiza los parámetros del oleaje que definen los escenarios de simulación previamente descritos.

**Tabla 8.** Parámetros del oleaje que definen los escenarios de simulación (Anexo II.1).

Escenario de simulación	Altura de ola H (m)	Periodo de oleaje T (s)	Dirección de procedencia del oleaje	Sobreelevación del nivel del mar (m)
Calma o no tormenta	1	8	E	0
			ESE	0
Tormentas	2	8	ENE (Norte)	0
			E (Tormenta del Este)	0
			ESE (Surada)	0
		7	SE (Surada)	0
Huracán	4	10	E	0.5

### IV.2.1.4.3.4 Corrientes

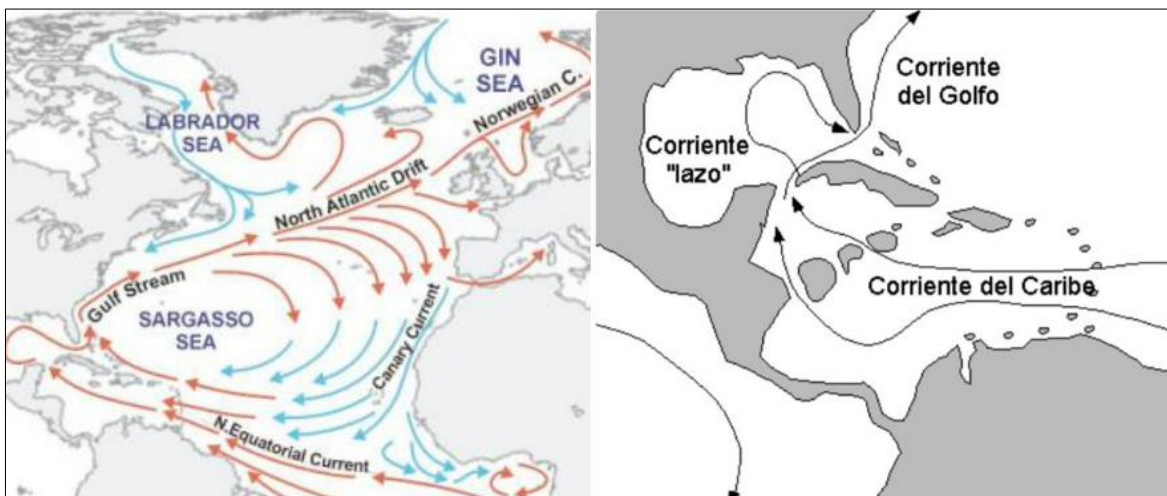
Las corrientes marinas son como ríos que viajan a diferente velocidad y profundidad, transportando tanto organismos como alimentos. Pueden ser causadas por el viento y otras por los cambios de densidad debido a variaciones en la temperatura y en la salinidad. Cuando son originadas por el viento, la energía en superficie es transmitida hacia abajo en la columna de agua, pero la velocidad y dirección de los movimientos cambian con la profundidad. En la superficie, las corrientes se mueven en el sentido del viento, pero las capas inferiores reciben menor cantidad de energía lo que hace que disminuya su velocidad. A esto se suma la fuerza de Coriolis que causa en los objetos que se desplazan, un giro hacia la derecha o izquierda dependiendo de dónde se ubique este, (en el hemisferio norte o sur, respectivamente), haciendo que cada una de estas capas presente una desviación con respecto a la capa inmediatamente superior. Esto crea un movimiento en espiral conocido como “espiral de Ekman” cuyos efectos alcanzan entre los 100 a 150 m de profundidad (CCO 2016).

Las corrientes superficiales más importantes en el océano se encuentran en el Atlántico: la corriente Ecuatorial que viene de África hacia América y la del Golfo que va de América hacia Europa; en el Pacífico, está la corriente Ecuatorial del Norte y del Sur, y la de Perú o Humboldt que viene del polo sur hacia el norte y pasa cerca del Ecuador. En el océano Índico se presenta la corriente de Agulhas. Las corrientes pueden ser frías, como la de Humboldt, o cálidas como la del Golfo que viaja por el Caribe hacia el norte y llega cerca de Groenlandia (CCO 2016).



Figura 57. Corrientes oceánicas: frías (azul) y cálidas (rojas). Fuente: CCO 2006.

El **Sistema Ambiental Regional (SAR)** del proyecto **está dominado por la Corriente del Caribe** que corre de sur a norte, en forma paralela a la línea de costa, **frente al estado de Quintana Roo** (Zavala *et al.* 2005). La Corriente del Caribe se forma a partir de la Corriente de Guayana, con mezcla de aguas del Mar Caribe y del Mar de los Sargazos (Suárez y Rivera 1998). Esta corriente presenta un flujo de 25 a 35 millones de m<sup>3</sup>/s (Zabala *et al.* 2005), tal cantidad de agua equivale a 120 veces el desfogue máximo del Amazonas (Morales 2004); la corriente, tiene además, una velocidad promedio de 80 cm/s en la superficie, y hasta 150 cm/s a una profundidad de 300 m (Reyes 2005); **al pasar por el Canal de Yucatán recibe el nombre de Corriente de Yucatán** (Zavala *et al.* 2005). Este flujo de agua es la principal fuente que irriga al Golfo de México y da origen a la Corriente de Lazo, que sale al Atlántico Norte por el Estrecho de Florida como las Corrientes de Florida y del Golfo (Zabala *et al.* 2005).



**Figura 58.** Corriente del Caribe en el Mar Caribe de México. Fuente: figura izquierda Masmar 2013; figura derecha Iturralde-Vinent 2003.

La diferencia de profundidades entre los canales de Yucatán y la Florida, no permite la evacuación de toda el agua que penetra al Golfo de México por el Canal de Yucatán, a través del canal de la Florida. El exceso resultante debe regresar al Mar Caribe utilizando la única vía posible. Es por esa razón que en los niveles intermedios y profundos se producen corrientes de retorno, de gran importancia para el balance hídrico del Golfo de México y el Mar Caribe. Así, de manera cuasi-permanente se observa un flujo de dirección sur adosado al talud de la plataforma de Yucatán como contracorrientes costeras (Zabala *et al.* 2005).

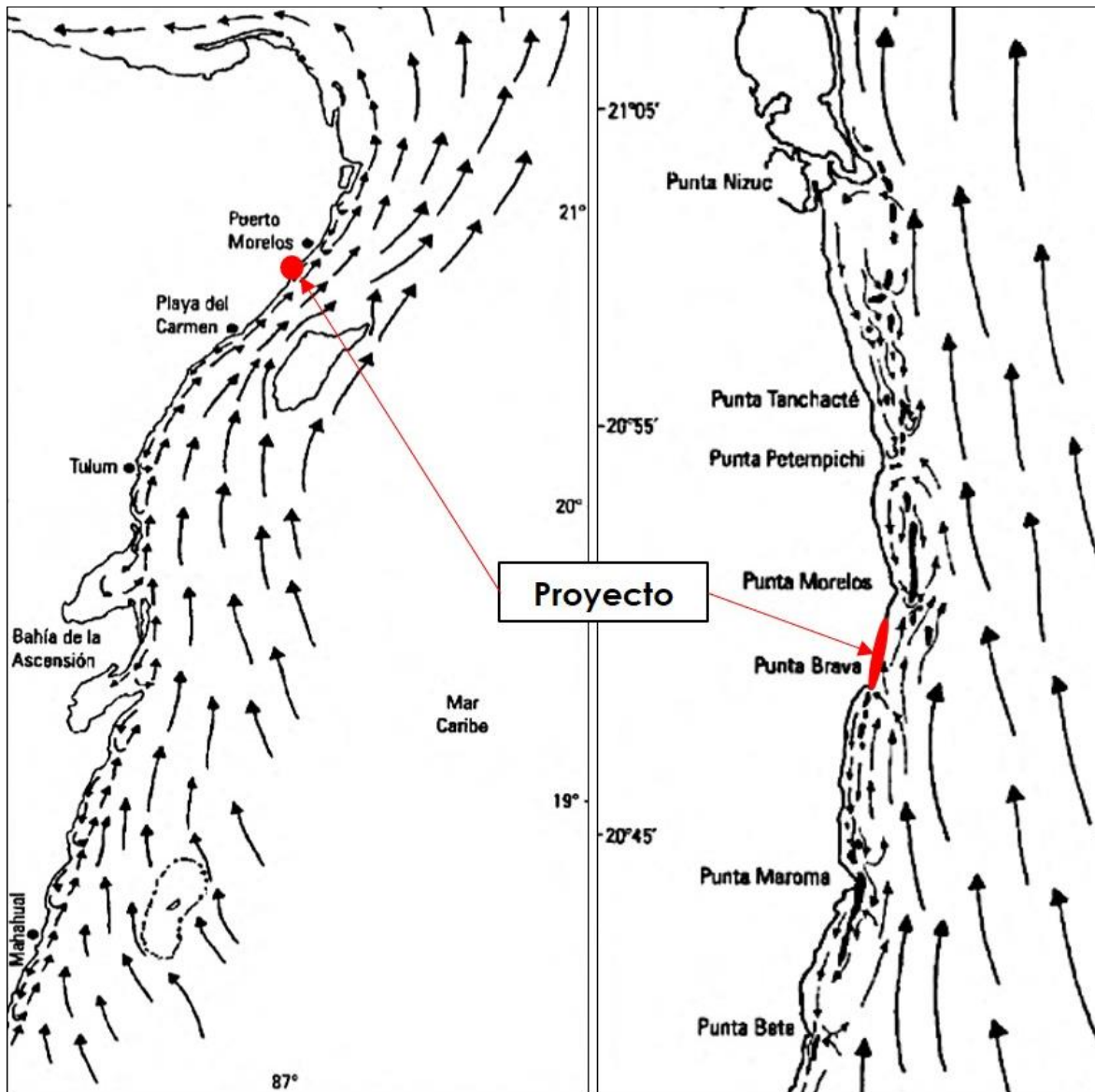


Esta contracorriente caracteriza a las porciones más internas de la costa quintanarroense, con influencia en los arrecifes, lagunas arrecifales y bahías. La contracorriente es más fuerte a medida que aumenta también la fuerza de la corriente, lo cual sucede aproximadamente a mitad de primavera (Merino 1992). Durante la época de nortes, el régimen de vientos – predominantemente hacia el sur – fortalece la contracorriente (Suárez y Rivera 1998).

Según Merino (1986), la dirección de la corriente (sur-norte) continúa de manera parcial hasta la porción norte de la costa del Caribe de México. La contracorriente (norte-sur) se establece con mayor claridad y fuerza entre dos puntos prominentes del litoral (Merino 1986). La mezcla de ambos flujos forma giros de amplitud variable y de forma longitudinalmente alargada cuyo flujo resultante se dirige hacia la costa. Podría sugerirse que cada sección de la costa separada por una prominencia litoral – o punta – tuviese su propio giro de contracorriente y una misma dinámica dentro de este patrón, en el que el agua se acumula en su porción frontal inferior favoreciendo así un flujo resultante hacia el sur. Además, en estas zonas cóncavas de puntas, ensenadas y otros accidentes costeros, el intenso flujo de la corriente hacia el norte – paralelo a la costa –, genera gradientes negativos de presión, favoreciendo también la formación de giros entre las puntas. En términos hidrodinámicos, este patrón puede resumirse como sigue: la dirección de las aguas superficiales a lo largo del margen oriental de la Península de Yucatán es, finalmente, hacia la costa, por efecto sumado de la corriente sur-norte y de la fisiografía de la costa. Estos patrones pueden tener modificaciones estacionales por efecto de las variaciones temporales en la fuerza de la Corriente de Yucatán (Merino, 1986, 1992). La barrera arrecifal modifica en meso y microescala la circulación costera, y es posible que el giro se debilite por efecto de la presencia de arrecifes de barrera frente a la punta, dificultando la acumulación de agua que regeneraría la contracorriente en este sector (Suárez y Rivera 1998).

Así, la circulación costera podría estar caracterizada por giros seccionales, de amplitud e intensidad variables en la porción sur de las puntas, regenerando la contracorriente hacia el sur (Suárez y Rivera 1998). Tomando en cuenta la disposición de una parte de las prominencias arrecifales a lo largo de la zona costeras de Quintana Roo, Suárez y Rivera (1998), construyeron diagramas del flujo esperado de la corriente y la contracorriente en distintas secciones del litoral quintanarroense. En este sentido **para el Sistema Ambiental Regional (SAR)** del proyecto, en la siguiente figura, se observa **de manera general**, que la Corriente

del Caribe va de sur a norte; asimismo, a una escala menor se observa que **la corriente del SAR también va de sur a norte entre Punta Brava y Punta Morelos**, al parecer porque las puntas no son muy pronunciadas.



**Figura 59.** Corriente del Caribe en el Sistema Ambiental Regional del proyecto. Izquierda: general; derecha: a escala menor. Fuente: Suárez y Rivera (1998).

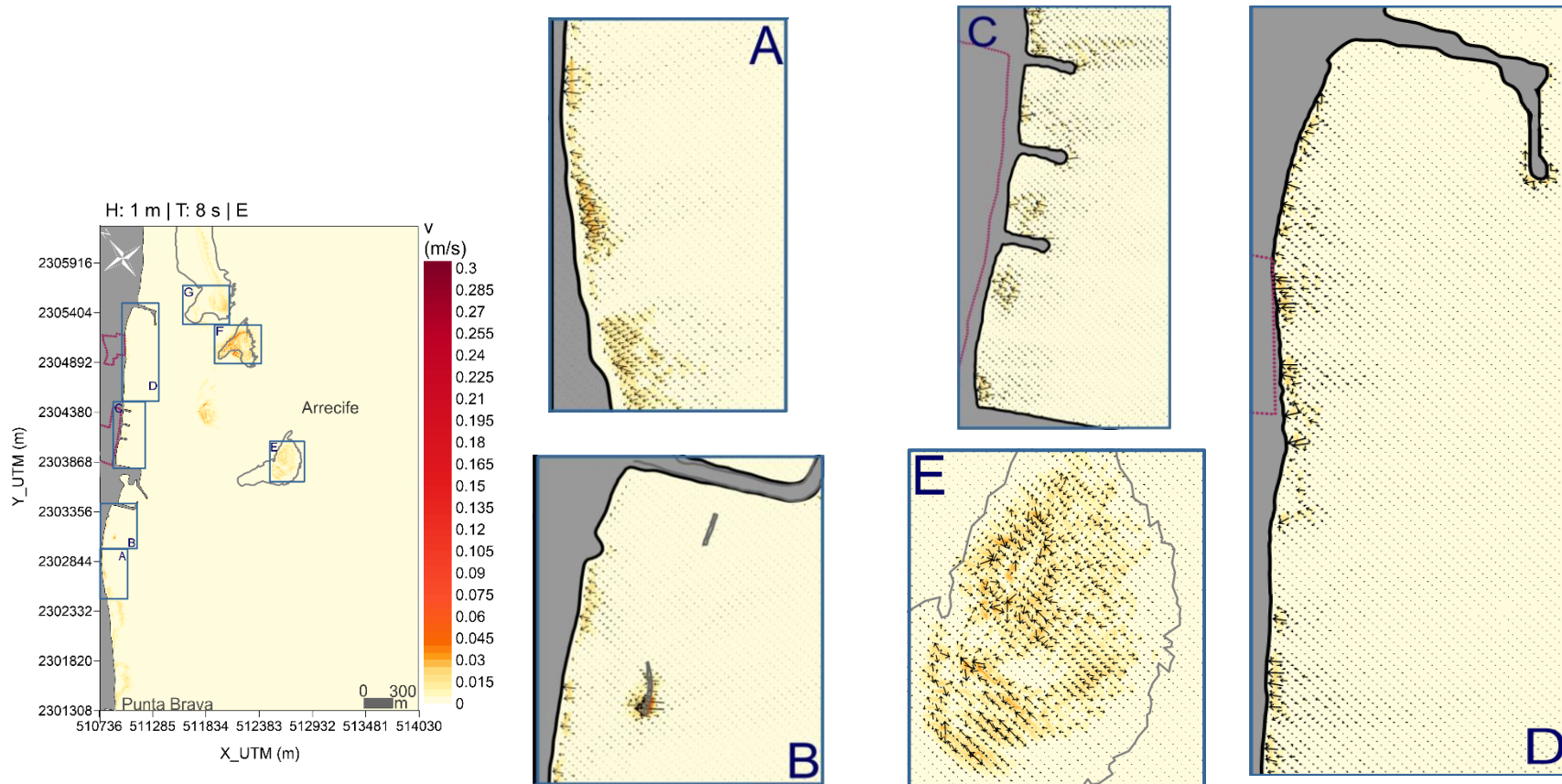
La **velocidad de la corriente en el Sistema Ambiental Regional** también se analizó a partir de la base de datos disponible en un punto frente al Sistema Ambiental



Regional (SAR) (UTM X 552050.94, Y 2294560.32) a una distancia de 41 km de la línea de costa y profundidad superior a 45 m (Figura 48). Esta base de datos contiene estados del periodo de 1948 a 2010 (62 años) (Anexo II.1).

A continuación, se muestra la distribución del módulo de velocidades de corrientes de oleaje en el Sistema Ambiental Regional para siete escenarios de simulación: 1) Calma o no tormenta con oleaje del este (E); 2) Calma o no tormenta con oleaje del este sureste (ESE); 3) Tormentas con oleaje del este noreste (ENE; Norte); 4) Tormentas con oleaje del este (E); 5) Tormentas con oleaje del este sureste (ESE; surada); 6) Tormentas con oleaje del sureste (SE; surada); 7) Huracán con oleaje del este (E). Los colores en las figuras indican de amarillo a rojo velocidades crecientes de corrientes. Para cada una de estas figuras se incluye su descripción y el detalle del sentido de circulación de las corrientes en las playas colindantes al sistema (detalles A a E).

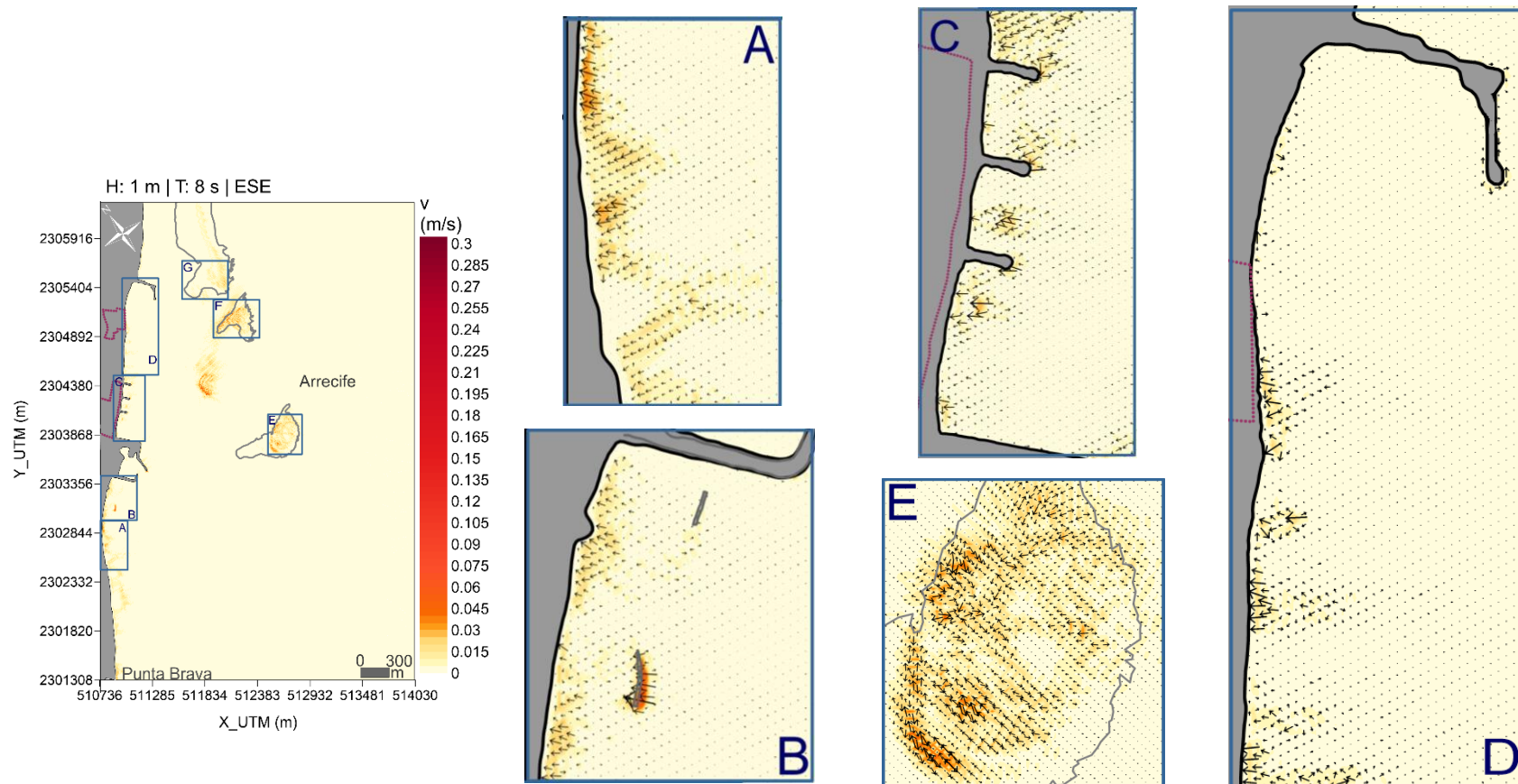
1) En condiciones de **calma o no tormenta con oleaje del este (E)**, la velocidad de la corriente no supera los 0.045 m/s en el Sistema Ambiental Regional.



**Figura 60.** Circulación de corrientes de oleaje en condición de calma con oleaje del este (E) y detalle.

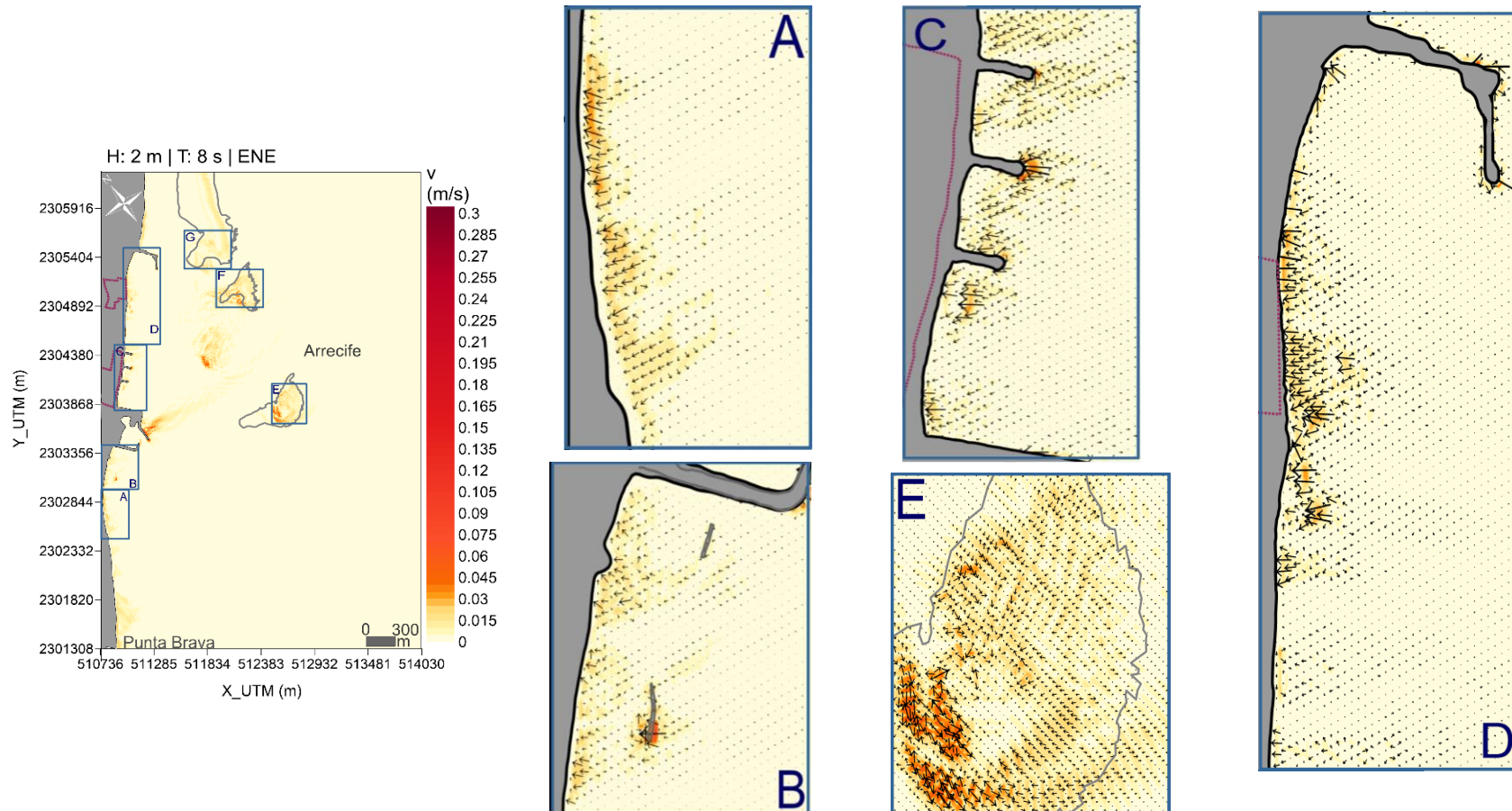


2) En condiciones de **calma o no tormenta con oleaje del este sureste (ESE)**, la velocidad de la corriente no supera los 0.06 m/s en el Sistema Ambiental Regional.



**Figura 61.** Circulación de corrientes de oleaje en condición de calma con oleaje del este sureste (ESE) y detalle.

3) En condiciones de **tormentas con oleaje del este noreste (ENE; Norte)**, la velocidad de la corriente no supera los 0.075 m/s en el Sistema Ambiental Regional.

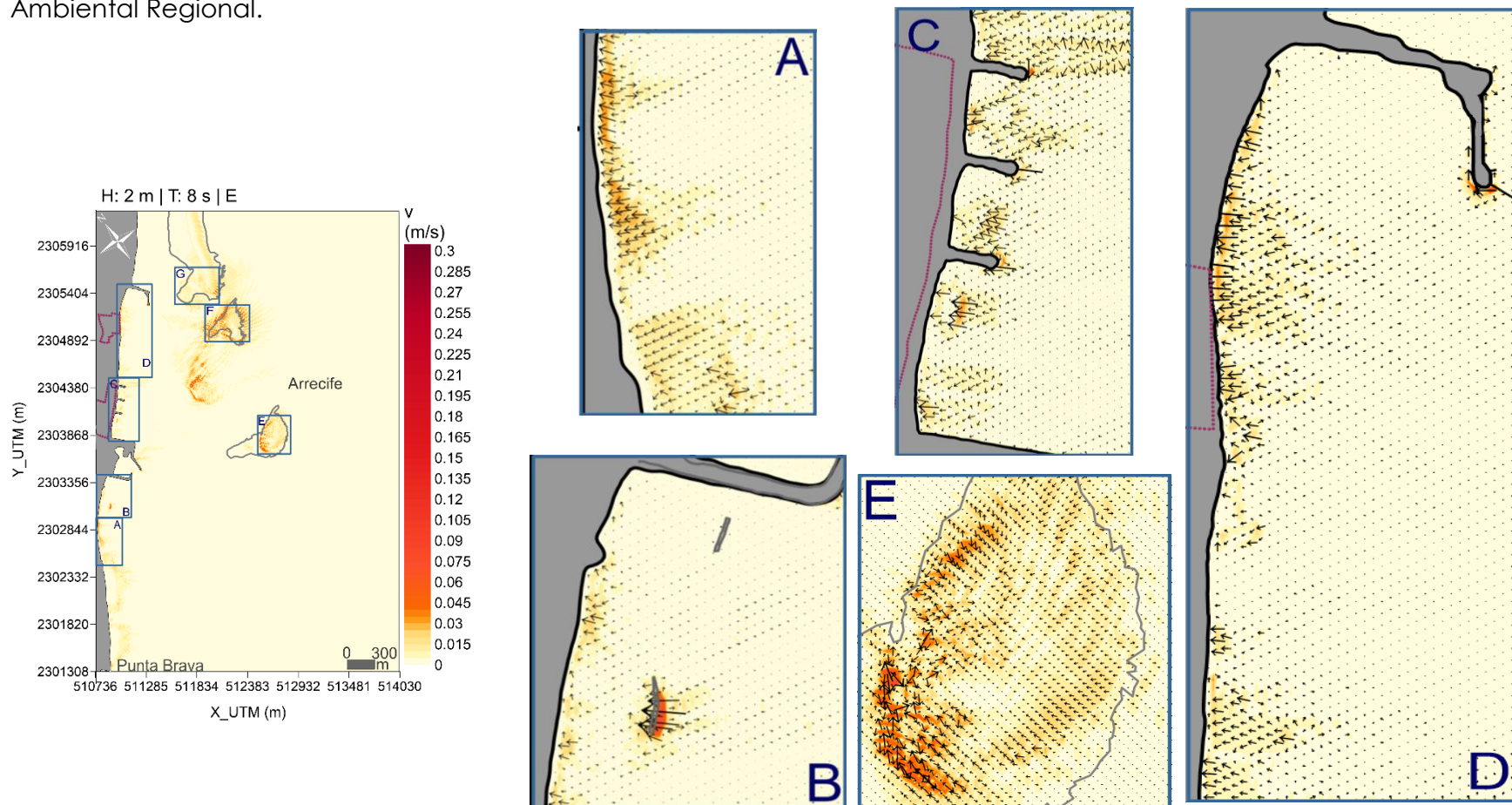


**Figura 62.** Circulación de corrientes de oleaje en condición de tormentas con oleaje del este noreste (ENE; Norte) y detalle.





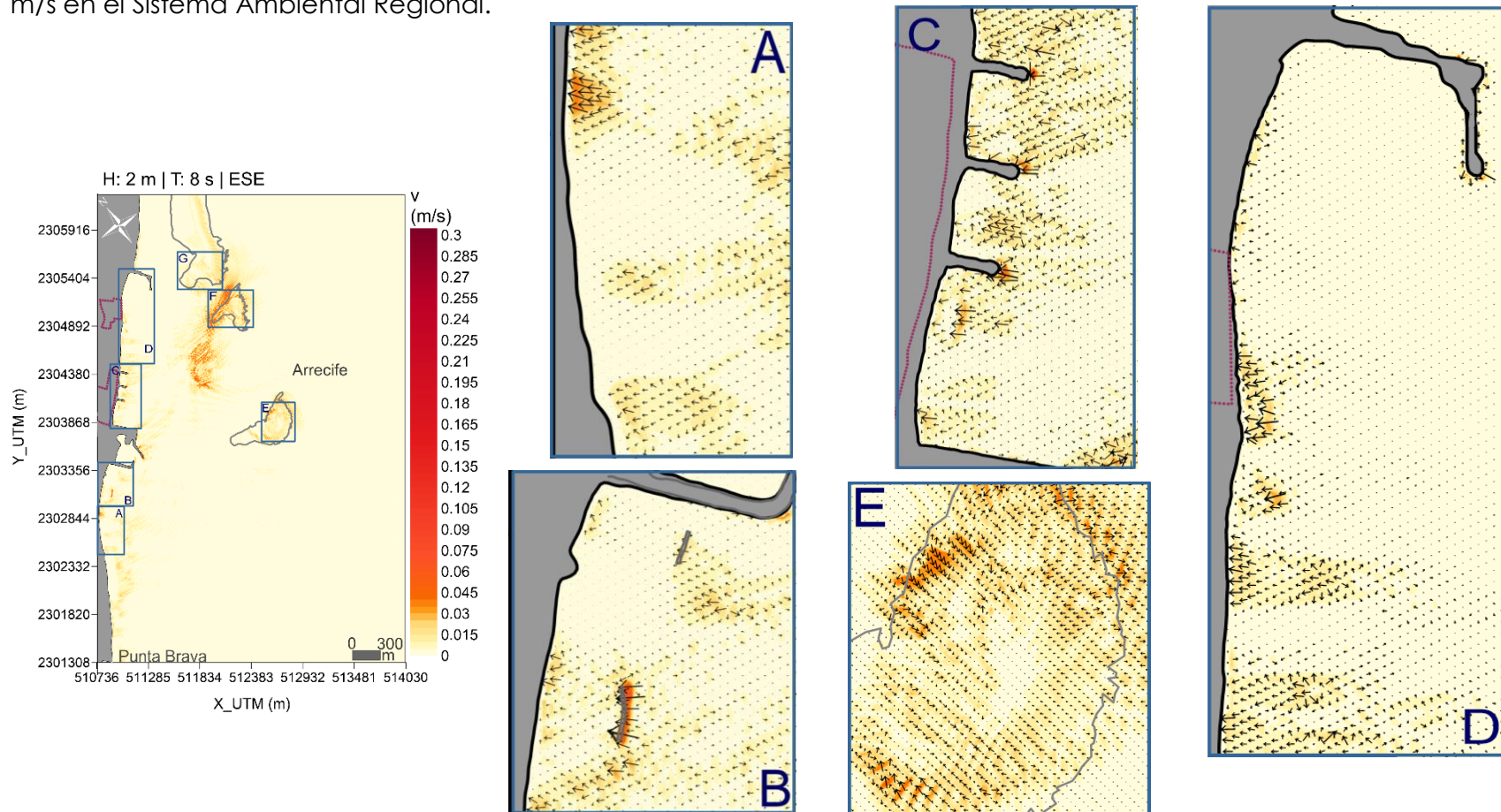
4) En condiciones de **tormentas con oleaje del este (E)**, la velocidad de la corriente no supera los 0.075 m/s en el Sistema Ambiental Regional.



**Figura 63.** Circulación de corrientes de oleaje en condición de tormentas con oleaje del este (E) y detalle.



5) En condiciones de **tormentas con oleaje del este sureste (ESE; surada)**, la velocidad de la corriente no supera los 0.045 m/s en el Sistema Ambiental Regional.

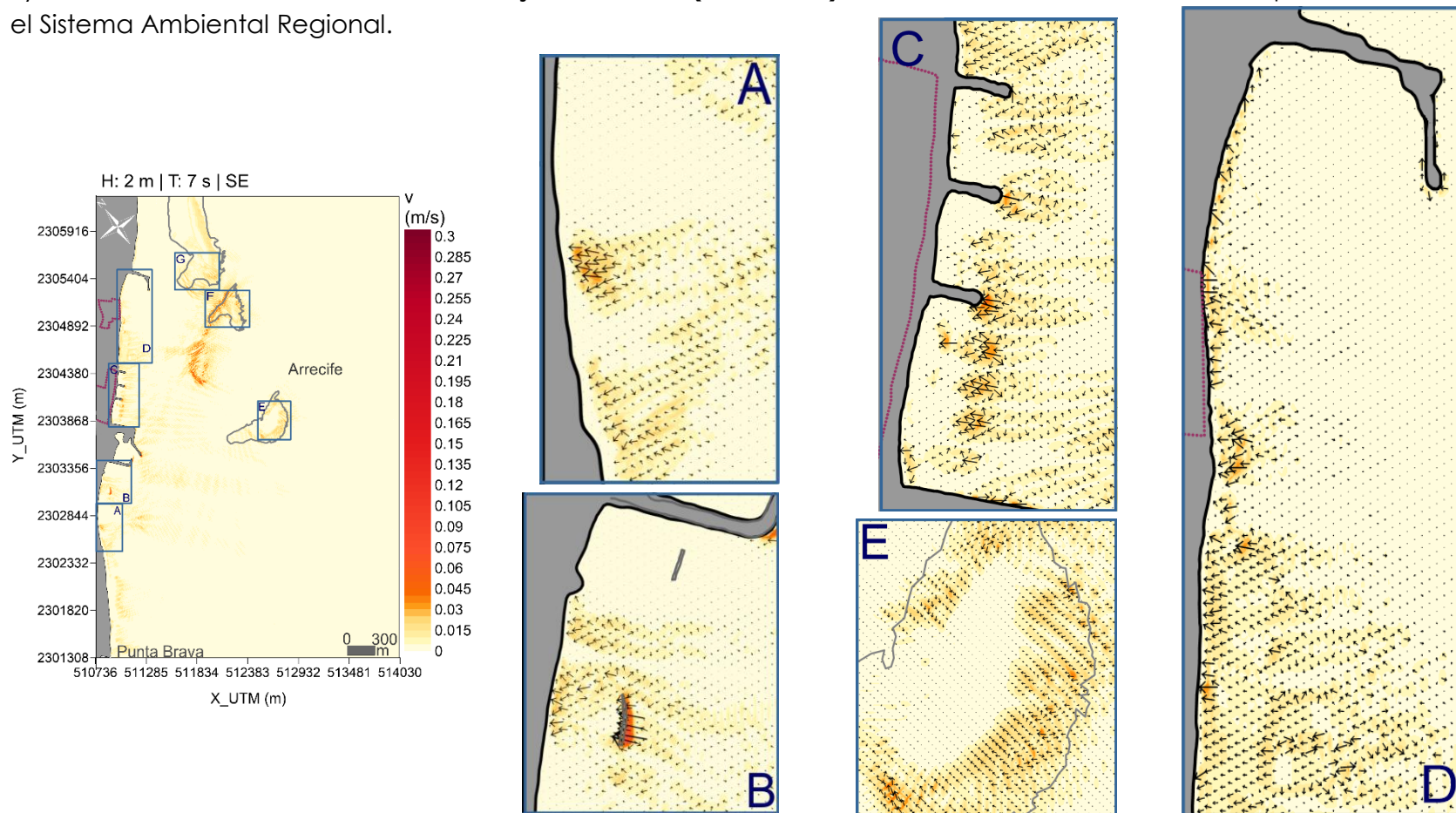


**Figura 64.** Circulación de corrientes de oleaje en condición de tormentas con oleaje del este sureste (ESE; Surada) y detalle.





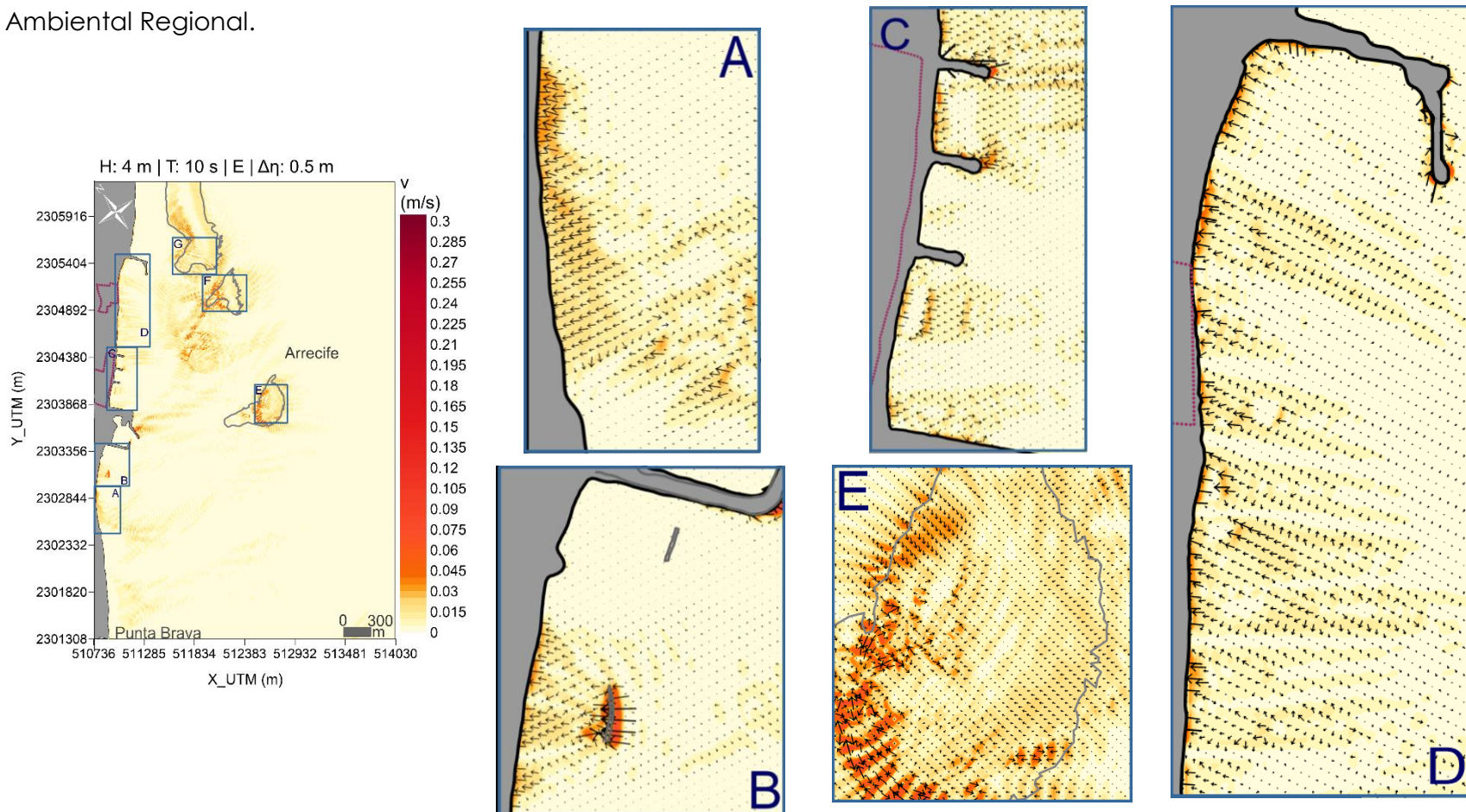
6) En condiciones de **tormentas con oleaje del sureste (SE; surada)**, la velocidad de la corriente no supera los 0.06 m/s en el Sistema Ambiental Regional.



**Figura 65.** Circulación de corrientes de oleaje en condición de tormentas con oleaje del sureste (SE; Surada) y detalle.



7) En condiciones de **huracán con oleaje del este (E)**, la velocidad de la corriente no supera los 0.06 m/s en el Sistema Ambiental Regional.



**Figura 66.** Circulación de corrientes de oleaje en condición de huracán con oleaje del este (E) y detalle.



### IV.2.1.4.3.5 Mareas

Las mareas son fenómenos particulares que ocurren en el océano produciendo descensos y elevaciones periódicas en la superficie debido al efecto de atracción que la luna y el sol ocasionan sobre el planeta. El efecto de la luna sobre la Tierra es el doble que el del sol, ya que, si bien este es más grande, se encuentra a una mayor distancia. Cuando la cara de la luna mira hacia una región de la Tierra, atrae el agua de la superficie del océano en esa región elevándola. Como la Tierra y la luna están en movimiento, en cierto momento cesa el efecto de la luna en esa región y la superficie del océano desciende. Al subir la superficie del océano se dice que hay pleamar o marea alta y al descender se dice que hay bajamar o marea baja (CCO 2016).

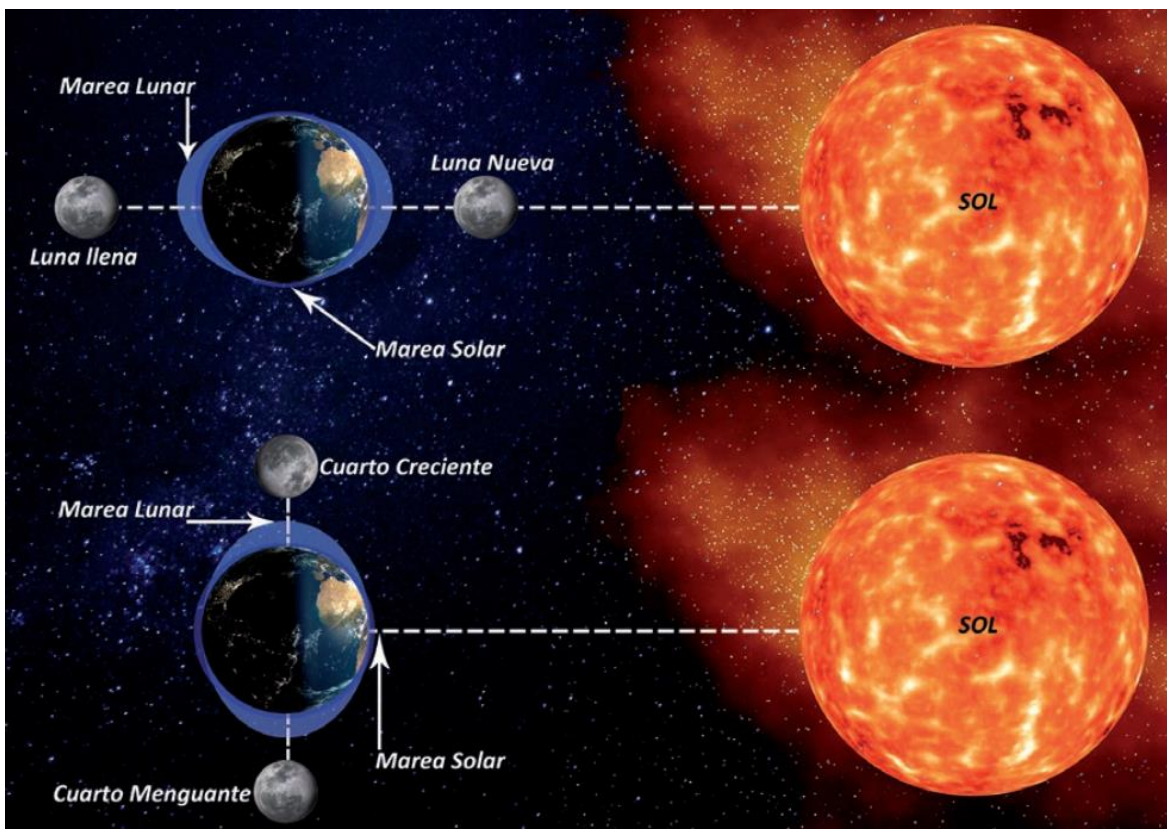


Figura 67. Influencia del sol y la luna en las mareas.

Con respecto al **Sistema Ambiental Regional** del proyecto, en un régimen de marea astronómica micro mareal, con pleamar máxima alrededor de 30 cm, las principales variaciones del nivel del mar que se consideran que pueden afectar el área del proyecto son las que se producen debido a la sobreelevación del nivel del mar en condiciones de huracán, donde la sobreelevación del nivel del mar sería de 0.5 m (Tabla 8).

### IV.2.1.4.3.6 Sedimentos

La arena de la región es blanca y se debe a que es de carbonato de calcio; parte de ella consiste en restos de corales y conchas de moluscos molidos y pulverizados por el oleaje, pero la mayor parte se forma por la descomposición de algas calcáreas. Estas pequeñas plantas marinas, muy abundantes en aguas someras y de las cuales hay numerosas especies, contienen tanto carbonato de calcio que a veces sus hojas son rígidas. Como los granos de arena son muy pequeños, tienen una superficie muy grande en relación con su volumen. Ello hace que no puedan acumular mucho calor y además lo irradian rápida y fácilmente. Por eso no llegan a calentarse y siempre se sienten frescos (Morales 2004).

El sedimento producido en el ambiente marino, puede ser transportado por la acción del viento, oleaje o corrientes, entre otras, ya sea a áreas continentales, al borde de la plataforma o a las profundidades marinas. Este fenómeno se explica a partir de la Ley de Gravitación Universal de Newton, que en términos sencillos indica que cada partícula de masa del universo es atraída por otra partícula de masa mayor (Morales 2004).

Dado que uno de los objetivos del presente proyecto es realizar la **regeneración del ancho de playa seca frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales**, como se describió en el Capítulo II del presente estudio, se realizó un análisis para determinar los mejores sitios de extracción de sedimentos (arena) dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto. Este análisis consistió en: 1) **Identificación de las zonas de acumulación de arena**, 2) **Análisis de compatibilidad del sedimento** y 3) **Propuesta de zonas de extracción de arena**.

**1) Identificación de las zonas de acumulación de arena.** A partir de imágenes de satélite del periodo de 1984 a 2016 (32 años), se realizó un análisis conjunto de hidrodinámica y dinámica sedimentaria con el fin de reconocer zonas de

acumulación de arena (Anexo II.8). Se identificaron cinco zonas de acumulación de arena (A, C, D, E, G; figura siguiente).



**Figura 68.** Ubicación de las diferentes zonas de acumulación de arena identificadas en el Sistema Ambiental Regional del proyecto.

Una descripción detallada de cada zona de acumulación de arena (sedimentos) se proporcionó en el Capítulo II del presente estudio.

### 2) Análisis de compatibilidad del sedimento

Una vez identificadas las zonas de acumulación de arena, se procedió a realizar un análisis de compatibilidad de sedimento, esto debido a que la arena que se utilice como material de relleno debe cumplir con una serie de criterios de semejanza en relación a la existente en la playa a regenerar (Anexo II.2).



En total, se obtuvieron 18 muestras de arena: 14 muestras de arena de los bancos y cuatro muestras de arena de playa. Las coordenadas de las muestras se incluyen en la siguiente tabla y figura.

**Tabla 9.** Coordenadas de ubicación de las muestras de arena.

Muestras	Puntos de muestreo	X (UTM 16 Q)	Y (UTM 16 Q)
Bancos de arena	M1	512063.36	2303491.43
	M2	512138.94	2303652.02
	M3	512408.68	2304078.62
	M4	512506.82	2304249.31
	T1	512786.1	2304482.24
	T2	512698.65	2304277.74
	T3	512343.21	2303896.28
	B1	511514.73	2303539.84
	B2	511578.38	2303476.21
	B3	511911.45	2303326.89
	B4	512067.48	2303569.54
	B6	512404.73	2304536.69
	A1	512328.55	2304391.40
	Marina	511258.96	2303228.04
Playa	M5	511785.79	2303927.6
	M6	511702.68	2303832.28
	M7	511511.04	2303649.13
	M8	512264.46	2304552.32



# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

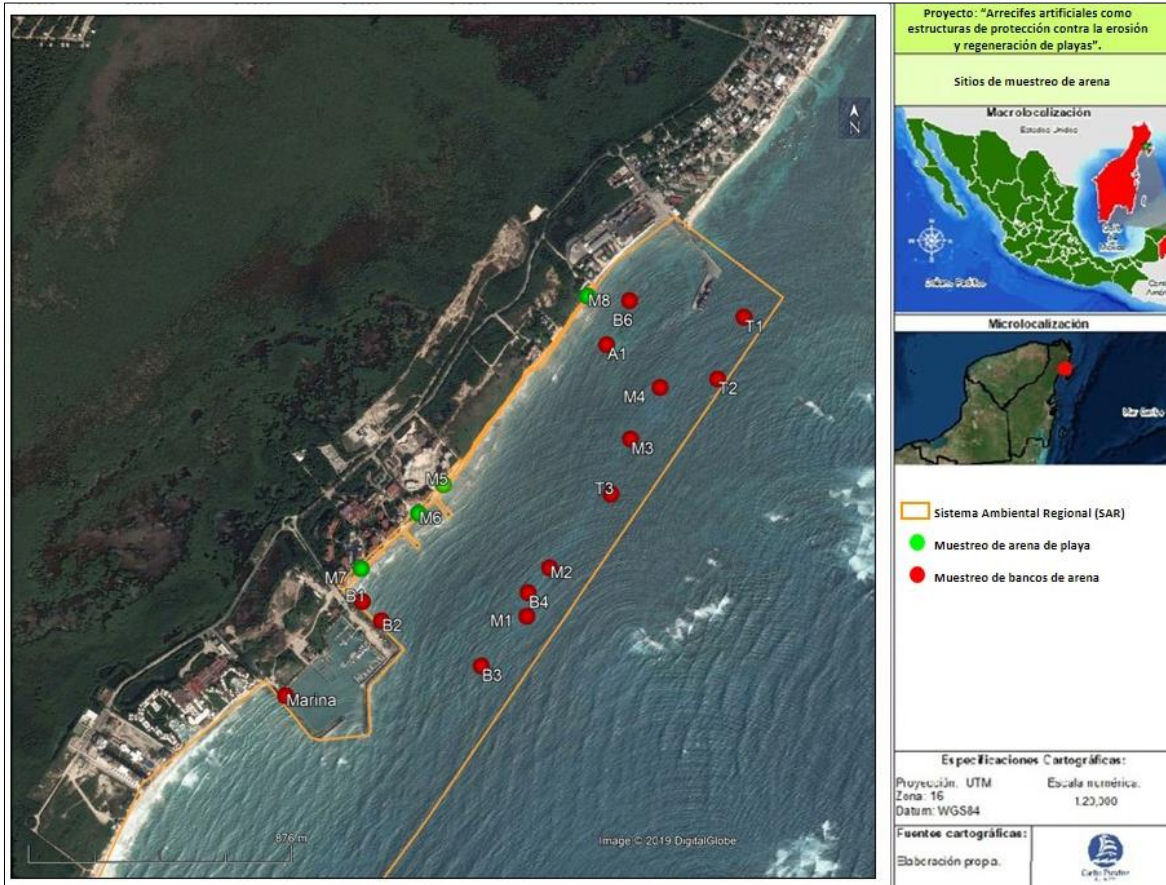
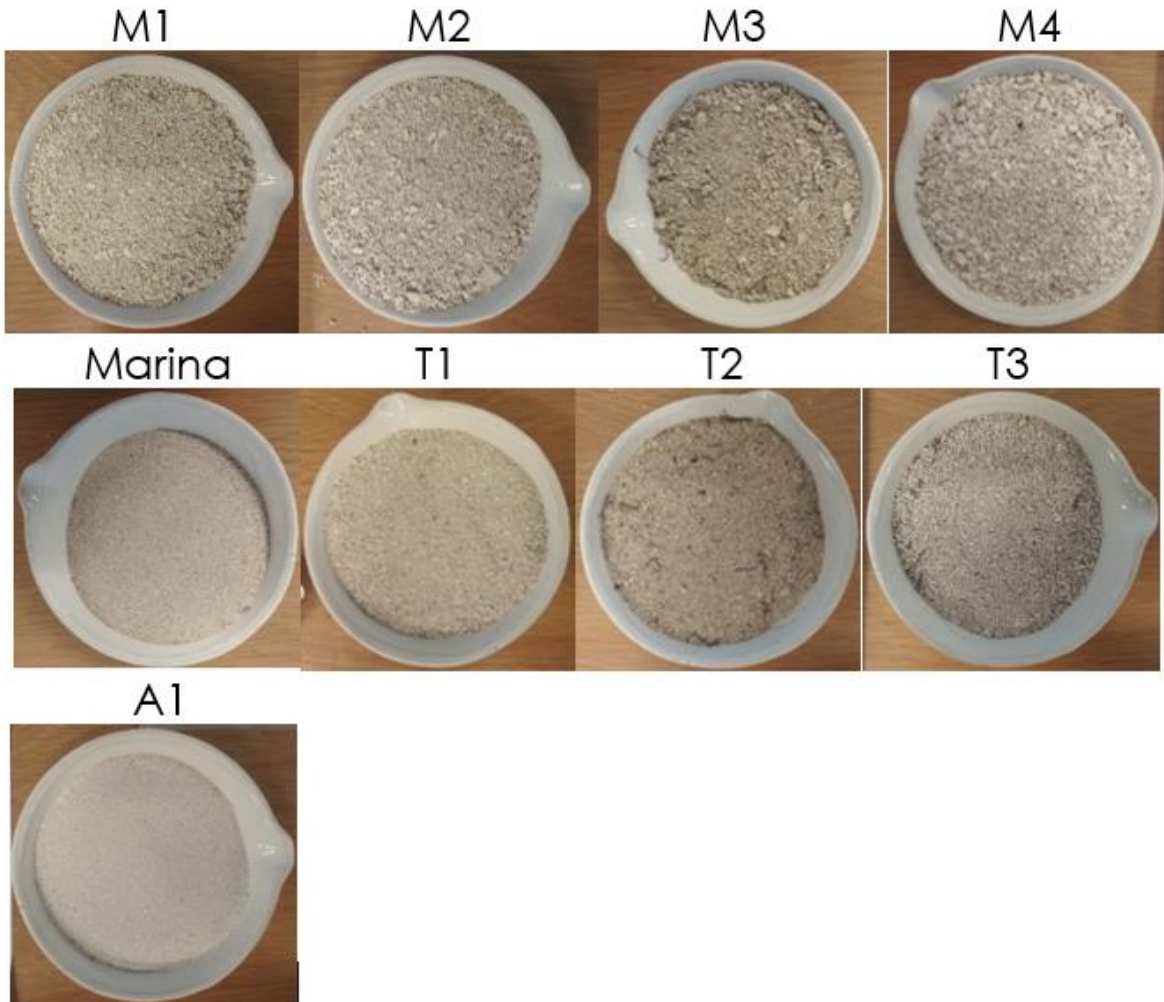


Figura 69. Sitios de muestreo de arena.

Muestras de bancos de arena



Muestras de sedimento de la playa seca

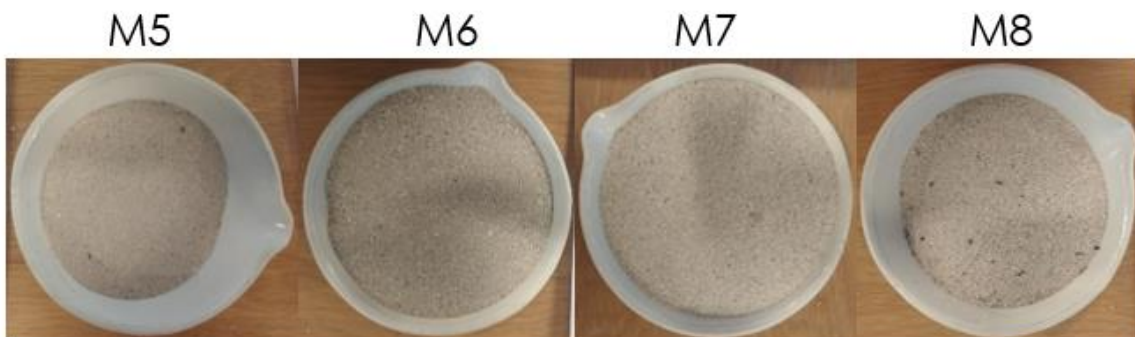


Figura 70. Aspecto de las muestras de sedimento (M1a A1-Bancos; M5 a M8-Playa).

De acuerdo con la granulometría (Anexo II.2), el sedimento de relleno estará en equilibrio si su diámetro medio, representado por el parámetro  $D_{50}$ , es igual al de la arena nativa donde se vierte. En general, las arenas utilizadas para la regeneración de playas suelen tener un tamaño similar a la nativa o ligeramente superior. Si la arena de préstamo contiene tamaños que no se encuentran en la muestra nativa, éstos pueden resultar inestables en el relleno y perderse mar adentro, como es el caso de las fracciones muy finas o partículas orgánicas compuestas de conchas frágiles. A continuación, para cada una de las muestras de arena analizadas, se presentan los resultados del tamaño medio de grano ( $D_{50}$ ), así como la proporción de partículas finas (% Finas) presentes en la muestra.

**Tabla 10.** Parámetros del análisis granulométrico de las 18 muestras.

Muestras	Puntos de muestreo	$D_{50}$ (mm)	% Finos
Bancos de arena	T1	0.641	0.72
	T2	0.815	0.07
	T3	0.834	0.96
	M1	0.975	0.04
	M2	0.962	0.11
	M3	1.045	0.16
	M4	1.094	0.19
	Marina	0.27	0.68
	B1	0.43	0
	B2	0.14	0
	B3	0.29	0
	B4	0.15	1
	B6	0.65	2
Playa	A1	0.223	0.28
	M5	0.232	0.17
	M6	0.372	0.49
	M7	0.277	0.16
	M8	0.356	0.09

De acuerdo con los anteriores resultados (Anexo II.2), los sitios que muestran un tipo de sedimento similar al de la playa receptora corresponden a los puntos de muestreo B1, B2, B3, B4, B6, A1 y Marina.

Muestras	Puntos de muestreo	D <sub>50</sub> (mm)	% Finos
Playa	M5	0.232	0.17
	M6	0.372	0.49
	M7	0.277	0.16
	M8	0.356	0.09
Bancos de arena	B2	0.14	0
	B4	0.15	1
	A1	0.223	0.28
	Marina	0.27	0.68
	B3	0.29	0
	B1	0.43	0
	B6	0.65	2

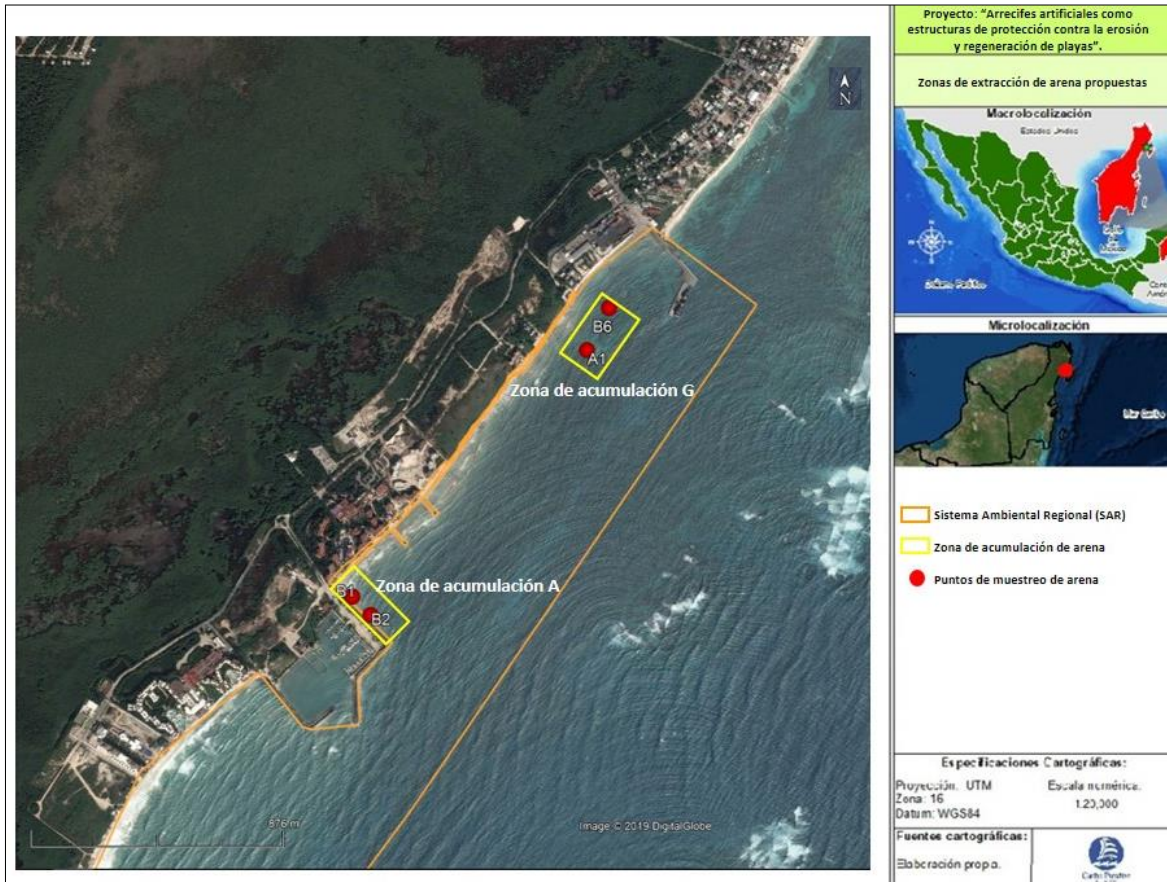
### 3) Propuesta de zonas de extracción de arena

Considerando la información sobre las zonas de acumulación identificadas, así como del análisis de compatibilidad de sedimentos, **se propone como zonas de extracción de arena para la regeneración de playa a la: Zona de acumulación “A” y Zona de acumulación “G”.**

**Zona de acumulación “A”.** Esta zona se eligió debido a que: 1) las muestras de arena de los puntos **B1 y B2** resultaron tener características granulométricas semejantes a las de la playa a regenerar (tabla anterior; Anexo II.2); 2) la proximidad de bombeo entre la zona de acumulación y de regeneración de playa es menor que con las otras zonas de acumulación, lo cual permitirá evitar conflictos con predios vecinos; y 3) esta zona siempre se está alimentando de sedimento, como se explicó anteriormente, por lo que **la extracción de sedimento de esta zona de acumulación, no afectaría ninguna zona aledaña**, pues es material que proporcionan las celdas contiguas, depositado a través de las corrientes litorales.

**Zona de acumulación “G”.** Esta zona se eligió debido a que: 1) las muestras de arena de los puntos **B6 y A1** resultaron tener características granulométricas semejantes a las de la playa a regenerar (tabla anterior; Anexo II.2); 2) la proximidad de bombeo entre la zona de acumulación y de regeneración de playa es menor que con las otras zonas de acumulación, lo cual permitirá evitar conflictos con predios vecinos.





**Figura 71.** Zonas de extracción de arena propuestas.

La reubicación de este material en la playa nuevamente, pretende restablecer las condiciones originales de la playa con el mismo material original.

## IV.2.2 Caracterización biológica del Área de Estudio

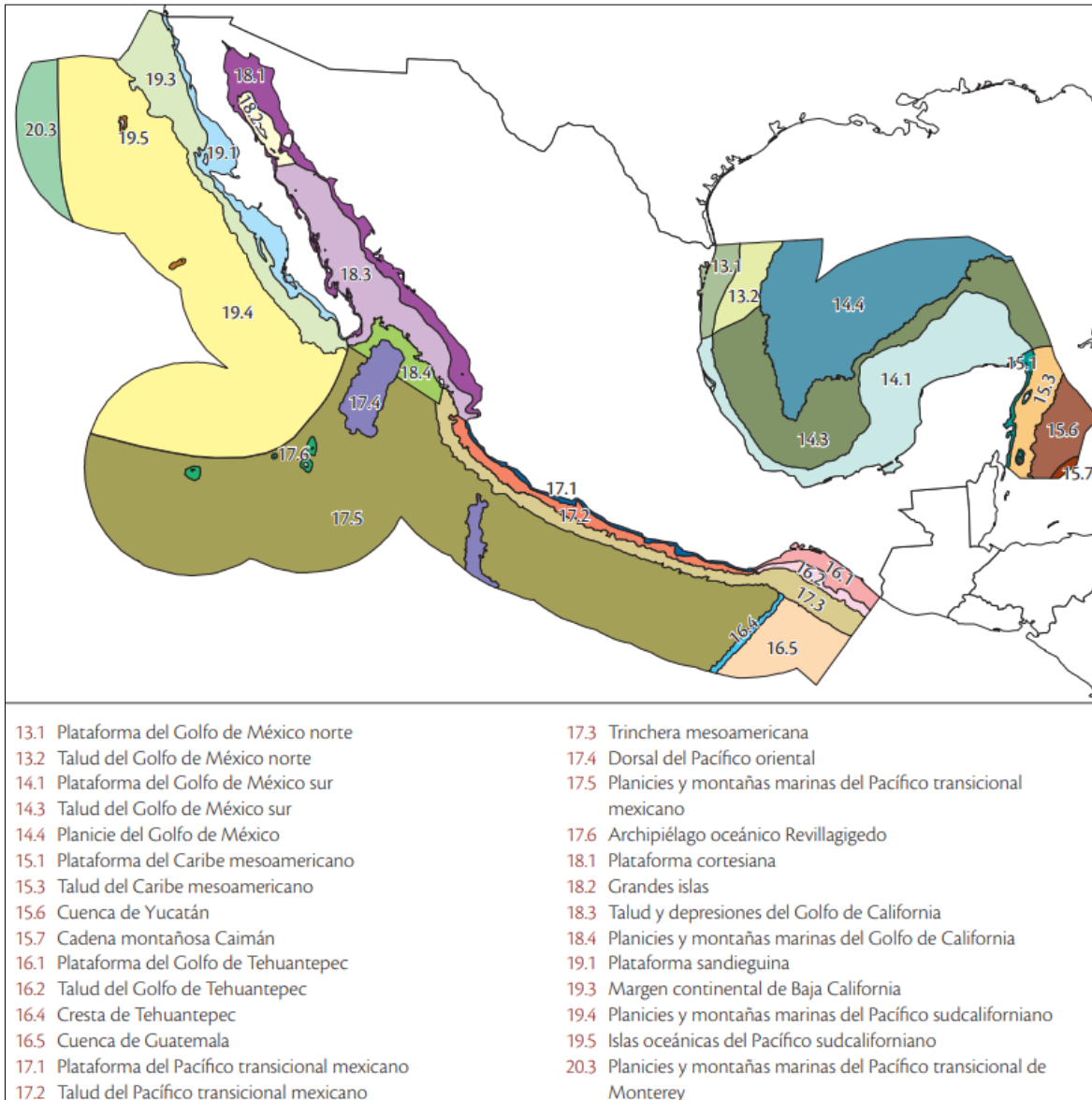
### IV.2.2.1 Introducción

En el mundo se han identificado 12 regiones marinas subdivididas en 62 provincias, que a su vez incluyen 232 ecorregiones. Las 12 regiones marinas son: Ártico, Atlántico norte templado, Pacífico norte templado, Atlántico tropical, Indo-Pacífico occidental, Indo-Pacífico central, Indo-Pacífico oriental, Pacífico tropical oriental, Sud América templada, Sudáfrica templada, Australasia templada y Océano sur. Las regiones marinas de México son la Pacífico norte templado,

Pacífico tropical oriental, Atlántico norte templado y Atlántico tropical (CONABIO 2009). De las 232 ecorregiones marinas, en México hay 28 (Sarukhán *et al.* 2009). El Sistema Ambiental Regional definido para el proyecto se localiza en la ecorregión marina 15.1 Plataforma del Caribe mesoamericano.

La ecorregión marina 15.1 Plataforma del Caribe mesoamericano tiene una fisiografía de mares someros que incluye arrecifes de coral y bajos. Es una ecorregión de suma importancia, ya que alberga especies amenazadas, endémicas, raras y aquellas en peligro de extinción de conformidad con la NOM-059-SEMARNAT-2010, tales como Corales escleractinios: cuerno de alce (*Acropora palmata*), cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*); corales blandos o abanico de mar (*Plexaura homomalla*, *Plexaura dichotoma*). Asimismo, es una zona de tránsito para las tortugas marinas caguama (*Caretta caretta*), verde del Atlántico o blanca (*Chelonia mydas*), de carey (*Eretmochelys imbricata*) y laúd (*Dermochelys coriacea*) (CONANP S/F).





**Figura 72.** Ecorregiones marinas de México (Sarukhán *et al.* 2009).

De esta manera, los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano representan una fuente importante de bienes y servicios para la economía y bienestar de los habitantes del Estado de Quintana Roo. Es reconocido el efecto que brinda la barrera arrecifal como protección costera, al reducir el efecto catastrófico de eventos climáticos como tormentas y huracanes (Gardner *et al.* 2005); y cuando este ambiente se encuentra en buen estado previene la erosión de la costa que

causa pérdida de playas y pone en riesgo a las comunidades e infraestructura en los litorales.

Una cresta arrecifal bien desarrollada logra disipar la energía del oleaje que proviene del mar y que cruza el arrecife hacia la costa, atenuando el efecto de la energía del oleaje sobre el litoral. Este efecto ocurre debido a la alta complejidad de la estructura coralina que caracteriza a esta zona, debido principalmente a la presencia del coral masivo ramificado de la especie cuerno de alce (*Acropora palmata*) (Lirman 2003).

Por otro lado, el arrecife es la principal fuente de los sedimentos que forman las playas, debido al desgaste de las estructuras de carbonato de calcio que forman los corales en sus esqueletos, así como las conchas de moluscos, el caparazón de los crustáceos, espículas de esponjas y esqueletos de las algas calcáreas. Por otro lado, los arrecifes de coral sustentan distintas actividades económicas de la región como son la pesca y el turismo.

Desafortunadamente, el deterioro de los arrecifes coralinos en años recientes ha sido una situación alarmante, teniendo una estimación de la asociación Healty Reefs en el 2015 en donde reportan que 56% de los arrecifes en México se encontraron en situación pobre o crítica (Kramer *et al.* 2015). De manera consecuente, se ha detectado un detrimento de las funciones de estos ambientes, y con ello el menoscabo de los bienes y servicios que naturalmente brindan. Esta situación ha provocado una alta incidencia de proyectos de protección costera que se están implementando en la zona marino-costera en el litoral de Quintana Roo, con la finalidad de crear y/o restaurar el servicio de protección costera y minimizar el riesgo contra la erosión y energía del oleaje.

En este sentido, la Riviera Maya se ha convertido en un punto de referencia, ya que se han ejecutado algunos proyectos turísticos relevantes bajo modelos de desarrollo turístico innovadores. Estos proyectos se han caracterizado por la aplicación de modelos de desarrollo que siguen criterios ambientales muy estrictos, lo cual ha permitido orientar su diseño y desempeño bajo esquemas de sustentabilidad ambiental.

Bajo este esquema de operatividad, y con la intención de ejecutar un proyecto de recuperación de playas para el hotel asociado al proyecto, se presenta una

evaluación de las condiciones biológicas que prevalecen en el Sistema Ambiental Regional definido para el proyecto, desde el Muelle Fiscal hasta Punta Brava, a través de la caracterización biológica y ecológica de la biota marina que habita en el arrecife de este lugar, con el fin de determinar la condición actual y emitir elementos de juicio para su manejo. Por lo que los objetivos del presente estudio son los siguientes.

### IV.2.2.2 Objetivos

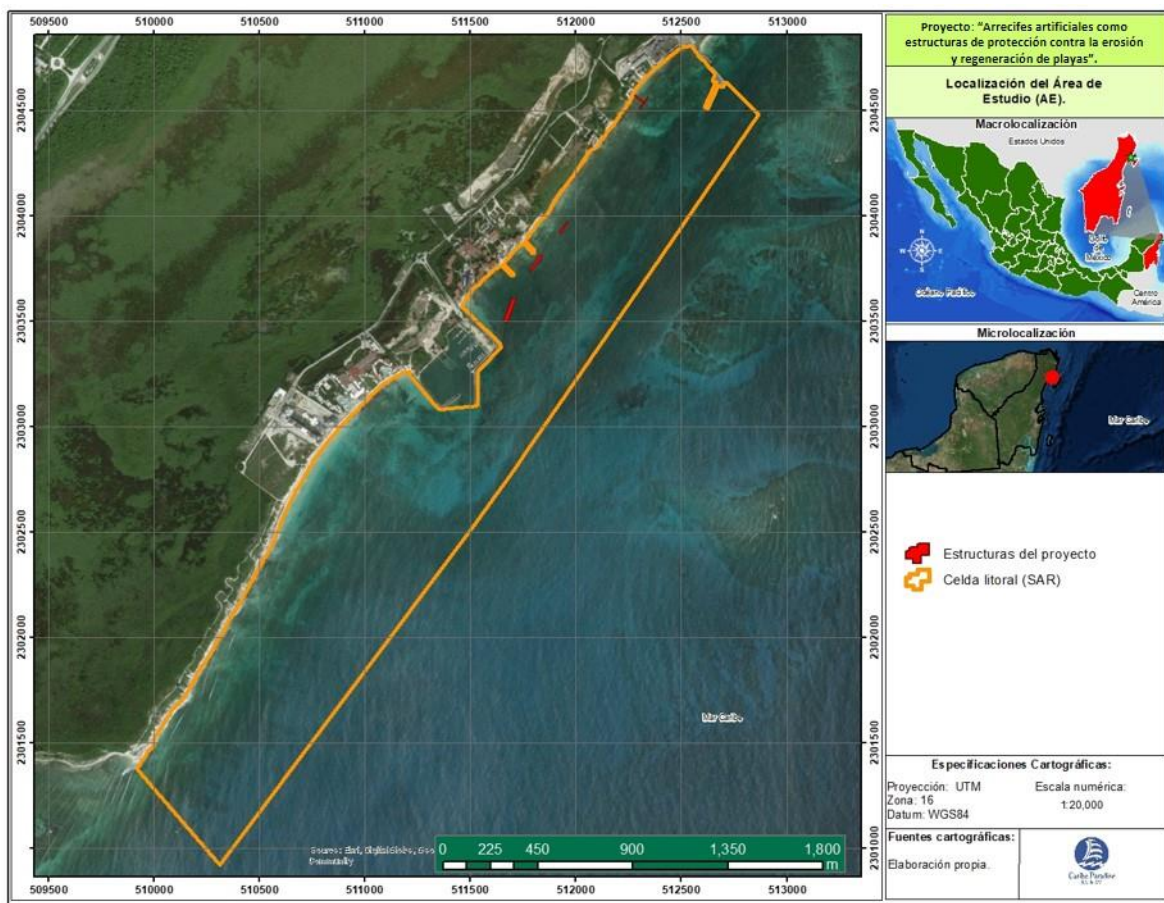
El objetivo general de este apartado es caracterizar el ambiente biótico marino del Sistema Ambiental Regional definido para el proyecto, con el fin de determinar la condición actual de este ecosistema, sus ambientes asociados, y detectar cambios estacionales durante un año de muestreo. Mientras que los objetivos específicos son:

- Identificar y describir los tipos de ambientes marinos que existen en el Sistema Ambiental Regional definido para este proyecto.
- Elaborar un mapa de los tipos de ambientes marinos identificados y definir su distribución geográfica referenciada que permita caracterizar el fondo marino y la comunidad biótica dominante.
- Evaluar la estructura comunitaria de los principales grupos taxonómicos de biota marina presente en el Sistema Ambiental Regional, así como los asociados en los bancos de arena y en las áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (estructuras de protección costera) en términos de su composición específica, distribución, abundancia, diversidad, equitabilidad, estructura de tallas, formas de crecimiento y describir su variación anual.
- Describir y realizar un análisis de la comunidad biótica marina que existe en el Sistema Ambiental Regional en función de los diferentes ambientes que se reconocieron, así como su variación anual.
- Emitir un diagnóstico de la condición actual del ecosistema arrecifal en el Sistema Ambiental Regional y describir las posibles variaciones anuales que existen en la biota marina.

### IV.2.2.3 Metodología

#### IV.2.2.3.1 Área de Estudio

Como ya se mencionó al inicio del presente capítulo, el Área de Estudio del proyecto comprende el Sistema Ambiental Regional (267.37 Ha), así como los sitios donde se pretende realizar la: 1) construcción de cuatro arrecifes artificiales (estructuras de protección), 2) sustitución de los espigones rígidos por andadores piloteados de madera en la zona marina, y 3) regeneración del ancho de playa seca a 10 m frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales.



**Figura 73.** Área de Estudio (Sistema Ambiental Regional y sitios del proyecto).

### IV.2.2.3.2 Biota marina potencial en el Sistema Ambiental Regional.

Con el fin de contar con un listado potencial de la especies marinas que pudieran ser registradas en el SAR delimitado para el proyecto, se documentaron las especies marinas pertenecientes a los principales grupos taxonómicos, siendo éstos: Corales (escleractinios y gorgonáceos), ictiofauna (peces arrecifales), vegetación marina (macroalgas y pastos marinos) y otros invertebrados (crustáceos, moluscos, equinodermos, anémonas, esponjas, etc.). La información obtenida se recopiló a través del uso de bases de datos, artículos y documentos oficiales enumerados a continuación:

1. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano
2. Base de datos GBIF México (Global Biodiversity Information Facility) <https://www.gbif.org>
3. Enciclovida. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://enciclovida.mx/>
4. Vilchis, M, Dreckmann, K., García-Trejo, E., Hernández, O. E., y Sentíes, A. 2018. Patrones de distribución de las grandes macroalgas en el golfo de México y el Caribe mexicano: una contribución a la biología de la conservación. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89(1), 183-192. <https://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.2226>
5. Delgado Pech B. 2016. Comunidades de macroalgas en arrecifes coralinos de Quintana Roo: composición taxonómica y patrones de colonización. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Cancún, Quintana Roo, México. [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/368/1/PCA\\_M\\_Tesis\\_2016\\_Delgado\\_Benjamin.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/368/1/PCA_M_Tesis_2016_Delgado_Benjamin.pdf)
6. Acosta-Calderón J., Hernández-Rodríguez C., Mendoza-González A. y Mateo-Cid L. 2018. Diversity and distribution of *Udotea* genus J.V. Lamouroux (Chlorophyta, Udoteaceae) in the Yucatan peninsula littoral, Mexico. *Phytotaxa* 345 (3): 179–218.
7. González-Muñoz, R., Simoes, N., Sánchez-Rodríguez, J. y Rodríguez, E. 2012. First Inventory of Sea Anemones (Cnidaria: Actiniaria) of the Mexican Caribbean. *Zootaxa*. 3556. 1-38
8. González-Muñoz, R., Simões, N., Tello-Musi, J., Sánchez-Rodríguez, J., & Rodríguez, E. 2015. New records of sea anemones (Cnidaria, Anthozoa, Actiniaria) in the Mexican Caribbean. *Marine Biodiversity Records*, 8, E100.
9. Sitios web:



- <https://arrecifesmarinos.wordpress.com/arrecifes-de-coral-del-caribe-y-golfo-de-mexico/>
- [http://www.conabio.gob.mx/gap/images/2/2a/79\\_Banco\\_Chinchorro.pdf](http://www.conabio.gob.mx/gap/images/2/2a/79_Banco_Chinchorro.pdf)

A partir de las fuentes antes mencionadas se obtuvo un total de 684 especies que podrían encontrarse en el SAR, de las cuales 97 pertenecen a corales escleractinios y gorgonáceos, 187 a peces, 184 a flora marina (178 especies de algas, 2 de cianobacterias y 4 de plantas superiores) y 216 a otros invertebrados. En las siguientes tablas se muestra la lista de las especies en donde se incluye la familia a la que pertenecen y su nombre científico.

**Tabla 11.** Listado de especies de CORALES con distribución potencial dentro del SAR.

Corales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Acroporidae	* <i>Acropora cervicornis</i>
	* <i>Acropora palmata</i>
Agariciidae	<i>Agaricia agaricites</i>
	<i>Agaricia fragilis</i>
	<i>Agaricia humilis</i>
	<i>Agaricia lamarcki</i>
	<i>Agaricia tenuifolia</i>
	<i>Agaricia undata</i>
	<i>Leptoseris cucullata</i>
Anthothelidae	<i>Erythropodium caribaeorum</i>
	<i>Iciligorgia schrammi</i>
Antipathidae	<i>Antipathes caribbeana</i>
	<i>Antipathes atlantica</i>
	<i>Antipathes gracilis</i>
	<i>Antipathes hirta</i>
	<i>Antipathes tanacetum</i>
	<i>Antipathes lenta</i>
	<i>Antipathes pennacea</i>
* <i>Antipathes bichitoea</i>	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Corales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	* <i>Antiphatas grandis</i>
	* <i>Antiphatas ulex</i>
Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia michelini</i>
Briareidae	<i>Briareum asbestinum</i>
Faviidae	<i>Colpophyllia amaranthus</i>
	<i>Colpophyllia breviserialis</i>
	<i>Colpophyllia natans</i>
	** <i>Pseudodiploria clivosa</i>
	<i>Diploria labyrinthiformis</i>
	** <i>Pseudodiploria strigosa</i>
	<i>Favia fragum</i>
	<i>Isophyllia sinuosa</i>
	<i>Isophyllastrea rigida</i>
	<i>Manicina areolata</i>
	<i>Montastrea cavernosa</i>
	<i>Mussa angulosa</i>
Faviidae	<i>Mycetophyllia aliciae</i>
	<i>Mycetophyllia danaana</i>
	<i>Mycetophyllia ferox</i>
	<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>
	<i>Orbicella faveolata</i>
	<i>Scolymia cubensis</i>
	<i>Scolymia lacera</i>
	<i>Solenastrea bournoni</i>
<i>Solenastrea hyades</i>	
Gorgoniidae	<i>Gorgonia flabellum</i>
	<i>Gorgonia mariae</i>
	<i>Gorgonia ventalina</i>
	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>
	<i>Pseudopterogorgia bipinnata</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Corales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Pseudopterogorgia elisabethae</i>
	<i>Pseudopterogorgia hummelincki</i>
	<i>Pseudopterogorgia rigida</i>
	<i>Pterogorgia anceps</i>
	<i>Pterogorgia citrina</i>
	<i>Pterogorgia guadalupensis</i>
	<i>Dendrogyra cylindrus</i>
Meandrinidae	<i>Dichocoenia stokesii</i>
	<i>Eusmilia fastigiata</i>
	<i>Meandrina meandrites</i>
Milleporidae	<i>Millepora alcicornis</i>
	<i>Millepora complanata</i>
Plexauridae	<i>Eunicea calyculata</i>
	<i>Eunicea fusca</i>
	<i>Eunicea laxispica</i>
	<i>Eunicea mammosa</i>
	<i>Eunicea palmeri</i>
	<i>Eunicea sp</i>
Plexauridae	<i>Eunicea succinea</i>
	<i>Eunicea tourneforti</i>
	<i>Muricea atlantica</i>
	<i>Muricea elongata</i>
	<i>Muricea laxa</i>
	<i>Muricea muricata</i>
	<i>Muriceopsis flavida</i>
	<i>Plexaura flexuosa</i>
	* <i>Plexaura homomalla</i>
	<i>Plexaura sp</i>
* <i>Plexaurella dichotoma</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Corales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Plexaurella grandiflora</i>
	<i>Plexaurella grisea</i>
	<i>Plexaurella nutans</i>
	<i>Pseudoplexaura crucis</i>
	<i>Pseudoplexaura flagellosa</i>
	<i>Pseudoplexaura porosa</i>
	<i>Pseudoplexaura wagnaari</i>
Pocilloporidae	<i>Madracis decactis</i>
	<i>Madracis mirabilis</i>
Poritidae	<i>Porites astreoides</i>
	<i>Porites branneri</i>
	<i>Porites colonensis</i>
	<i>Porites divaricata</i>
	<i>Porites furcata</i>
	<i>Porites porites</i>
Siderastreidae	<i>Siderastrea radians</i>
	<i>Siderastrea sideraea</i>
Scleractinia incertae sedis	<i>Cladocora arbuscula</i>

\*Especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (*Plexaura homomalla*, *Plexaurella dichotoma*, *Acropora cervicornis*, *A. palmata*, *Antipathes bichitoea*, *A. grandis* y *A. ulex*).

\*\*Antes género *Diploria* (World Register of Marine Species).

**Tabla 12.** Listado de especies de PECES ARRECIFALES con distribución potencial dentro del SAR.

Peces arrecifales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Acanthuridae	<i>Acanthurus bahianus</i>
	<i>Acanthurus chirurgus</i>
	<i>Acanthurus coeruleus</i>
Aulostomidae	<i>Aulostomus maculatus</i>
Apogonidae	<i>Apogon binotatus</i>
	<i>Apogon maculatus</i>
	<i>Apogon townsendi</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Peces arrecifales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Balistidae	<i>Balistes vetula</i>
	<i>Canthidermis sufflamen</i>
	<i>Melichthys niger</i>
	<i>Xanthichthys ringens</i>
Bleniidae	<i>Ophioblennius atlanticus</i>
Bothidae	<i>Bothus lunatus</i>
	<i>Bothus ocellatus</i>
	<i>Bothus maculiferos</i>
Carangidae	<i>Trachinotus carolinus</i>
	<i>Trachinotus falcatus</i>
	<i>Trachinotus sp.</i>
	<i>Caranx crysos</i>
	<i>Caranx latus</i>
	<i>Caranx hippos</i>
	<i>Caranx lugubris</i>
	<i>Caranx ruber</i>
	<i>Caranx sp.</i>
<i>Seriola dumerili</i>	
Chaetodontidae	<i>Prognathodes aculeatus</i>
	<i>Chaetodon capistratus</i>
	<i>Chaetodon ocellatus</i>
	<i>Chaetodon striatus</i>
Cirrhitidae	<i>Amblycirrhitus pinos</i>
Dasyatidae	<i>Hypanus americanus</i>
	<i>Dasyatis americana</i>
Diodontidae	<i>Diodon holocanthus</i>
	<i>Eucinostomus gula</i>
	<i>Eucinostomus</i>
	<i>argenteus</i>
	<i>Eucinostomus sp.</i>
	<i>Diodon hystrix</i>
Gerriidae	<i>Gerres cinereus</i>
	<i>Gerres sp.</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Peces arrecifales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Gobiidae	<i>Coryphopterus dicrus</i>
	<i>Coryphopterus hyalinus</i>
	<i>Coryphopterus personatus</i>
	<i>Ctenogobius saepepallens</i>
	<i>Elacantinus prochinos</i>
	<i>Gnatholepis cauerensis</i>
	<i>Gnatholepis thompsoni</i>
	<i>Gobioclinus bucciferus</i>
	<i>Gobiosoma dilepis</i>
	<i>Gobiosoma evelynae</i>
	<i>Gobiosoma prochilus</i>
<i>Robinsichthys arrowsmithensis</i>	
Gobiesocidae	<i>Gobiesox punctulatus</i>
Grammatidae	<i>Gramma loreto</i>
	<i>Lipogramma trilineatum</i>
Haemulidae	<i>Anisotremus surinamensis</i>
	<i>Anisotremus virginicus</i>
	<i>Haemulon album</i>
	<i>Haemulon aurolineatum</i>
	<i>Haemulon carbonarium</i>
	<i>Haemulon chrysargyreum</i>
	<i>Haemulon flavolineatum</i>
	<i>Haemulon melanurum</i>
	<i>Haemulon macrostomum</i>
	<i>Haemulon plumieri</i>
	<i>Haemulon sciurus</i>
	<i>Haemulon striatum</i>
	<i>Haemulon vittatum</i>
Holocentridae	<i>Holocentrus adscensionis</i>
	<i>Holocentrus bullisi</i>
	<i>Holocentrus marianus</i>
	<i>Holocentrus rufus</i>
	<i>Myripristis jacobus</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Peces arrecifales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Sargocentron coruscus</i>
	<i>Sargocentron vexillarius</i>
Labridae	<i>Bodianus rufus</i>
	<i>Clepticus parrai</i>
	<i>Halichoeres bivittatus</i>
	<i>Halichoeres cyanocephalus</i>
	<i>Halichoeres garnoti</i>
	<i>Halichoeres maculipinna</i>
	<i>Halichoeres pictus</i>
	<i>Halichoeres poeyi</i>
	<i>Halichoeres radiatus</i>
	<i>Lachnolaimus maximus</i>
	<i>Thalassoma bifasciatum</i>
	<i>Xyrichtys martinicensis</i>
	<i>Xyrichtys splendens</i>
Labrisomidae	<i>Malacoctenus boehlkei</i>
	<i>Malacoctenus macropus</i>
	<i>Malacoctenus triangulatus</i>
	<i>Malacoctenus versicolor</i>
Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i>
	<i>Lutjanus apodus</i>
	<i>Lutjanus jocu</i>
	<i>Lutjanus mahogoni</i>
	<i>Lutjanus synagris</i>
	<i>Ocyurus chrysurus</i>
Malacanthidae	<i>Malacanthus plumieri</i>
Monacanthidae	<i>Cantherhines macrocerus</i>
	<i>Cantherhines pullus</i>
	<i>Monacanthus tuckeri</i>
Mullidae	<i>Mulloidichthys martinicus</i>
	<i>Pseudupeneus maculatus</i>
Muraenidae	<i>Gymnothorax funebris</i>
	<i>Gymnothorax miliaris</i>
	<i>Gymnothorax moringa</i>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Peces arrecifales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Myliobatidae	<i>Aetobatus narinari</i>
Opistognathidae	<i>Opistognathus macrognathus</i>
	<i>Opistognathus natus</i>
	<i>Opistognathus whitehursti</i>
	<i>Opistognathus aurifrons</i>
Ostraciidae	<i>Lactophrys bicaudalis</i>
	<i>Lactophrys trigonos</i>
	<i>Acanthostracion polygonius</i>
	<i>Acanthostracion quadricornis</i>
	<i>Acanthostracion triqueter</i>
Paralichthyidae	<i>Paralichthys albigutta</i>
Pempheridae	<i>Pempheris schomburgkii</i>
Pomacanthidae	<i>Centropyge argi</i>
	<i>Holacanthus bermudensis</i>
	<i>Holacanthus ciliaris</i>
	<i>Holacanthus tricolor</i>
	<i>Pomacanthus arcuatus</i>
	<i>Pomacanthus paru</i>
Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i>
	<i>Chromis cyanea</i>
	<i>Chromis enchrysurus</i>
	<i>Chromis insolata</i>
	<i>Chromis multilineatus</i>
	<i>Chromis scotti</i>
	<i>Microspathodon chrysurus</i>
	<i>Stegastes adustus</i>
	<i>Stegastes diencaeus</i>
	<i>Stegastes fuscus</i>
	<i>Stegastes dorsopunicans</i>
	<i>Stegastes leucostictus</i>
	<i>Stegastes partitus</i>
<i>Stegastes planifrons</i>	
<i>Stegastes variabilis</i>	
Priacanthidae	<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Peces arrecifales	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Scaridae	<i>Priacanthus arenatus</i>
	<i>Nicholsina usta</i>
	<i>Scarus coeruleus</i>
	* <i>Scarus guacamaia</i>
	* <i>Scarus iserti</i>
	<i>Scarus taeniopterus</i>
	* <i>Scarus vetula</i>
	<i>Sparisoma atomarium</i>
	* <i>Sparisoma aurofrenatum</i>
	* <i>Sparisoma chrysopterus</i>
	<i>Sparisoma radians</i>
	* <i>Sparisoma rubripinne</i>
	* <i>Sparisoma viride</i>
Sciaenidae	<i>Pereques acuminatus</i>
	<i>Equetus punctatus</i>
Scorpaenidae	<i>Scorpaena plumieri</i>
	<i>Pterois volitans</i>
Serranidae	<i>Rypticus saponaceus</i>
	<i>Cephalopholis cruentatus</i>
	<i>Cephalopholis fulva</i>
	<i>Epinephelus adscensionis</i>
	<i>Epinephelus guttatus</i>
	<i>Epinephelus striatus</i>
	<i>Hypoplectrus aberrans</i>
	<i>Hypoplectrus chlorurus</i>
	<i>Hypoplectrus guttavarius</i>
	<i>Hypoplectrus indigo</i>
	<i>Hypoplectrus nigricans</i>
	<i>Hypoplectrus puella</i>
	<i>Hypoplectrus unicolor</i>
	<i>Liopropoma rubre</i>
	<i>Mycteroperca bonaci</i>
<i>Mycteroperca venenosa</i>	
<i>Mycteroperca interstitialis</i>	

<b>Peces arrecifales</b>	<b>Especies potenciales</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>
	<i>Serranus baldwini</i>
	<i>Serranus tabacarius</i>
	<i>Serranus tigrinus</i>
	<i>Serranus tortugarum</i>
Sparidae	<i>Calamus bajonado</i>
	<i>Calamus calamus</i>
	<i>Calamus pennatula</i>
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i>
Synodontidae	<i>Synodus saurus</i>
Tetraodontidae	<i>Canthigaster rostrata</i>
	<i>Sphoeroides spengleri</i>
Urobatidae	<i>Urobatis jamaicensis</i>

\*Especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, de acuerdo con la modificación de su Anexo Normativo III (DOF. 14/11/2019).

**Tabla 13.** Listado de especies de VEGETACIÓN MARINA con distribución potencial dentro del SAR.

<b>Vegetación marina</b>	<b>Especies potenciales</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>
Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis taxiformis</i>
Anadyomenaceae	<i>Anadyomene stellata</i>
Boodleaceae	<i>Cladophoropsis macromeres</i>
Boodleaceae	<i>Cladophoropsis membranacea</i>
Callithamniaceae	<i>Aglaothamnion cordatum</i>
	<i>Aglaothamnion neglectum</i>
	<i>Crouania attenuata</i>
Caulacanthaceae	<i>Catenella caespitosa</i>
	<i>Catenella impudica</i>
Caulerpaceae	<i>Caulerpa cupressoides</i>
	<i>Caulerpa cupressoides var. flabellata</i>
	<i>Caulerpa mexicana</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Caulerpa paspaloides</i>
	<i>Caulerpa prolifera</i>
	<i>Caulerpa prolifera f. obovata</i>
	<i>Caulerpa racemosa</i>
	<i>Caulerpa racemosa var. Peltata</i>
	<i>Caulerpa sertularioides</i>
	<i>Caulerpa sertularioides f. brevipes</i>
	<i>Caulerpa sertularioides f. longiseta</i>
	<i>Caulerpa verticillata</i>
	<i>Caulerpa ashmeadii</i>
Ceramiaceae	<i>Centroceras clavulatum</i>
	<i>Ceramium cruciatum</i>
	<i>Ceramium nitens</i>
Champiaceae	<i>Champia parvula</i>
	<i>Champia salicornioides</i>
	<i>Coelothrix irregularis</i>
Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha gracilis</i>
	<i>Chaetomorpha linum</i>
	<i>Chaetomorpha minima</i>
	<i>Cladophora sp.</i>
	<i>Rhizoclonium riparium</i>
Codiaceae	<i>Codium isthmocladum</i>
	<i>Codium repens</i>
	<i>Codium taylorii</i>
Corallinaceae	<i>Jania pumila</i>
	<i>Jania adhaerens</i>
	<i>Jania rubens</i>
Cystocloniaceae	<i>Hypnea cervicornis</i>
	<i>Hypnea musciformis</i>

<b>Vegetación marina</b>	<b>Especies potenciales</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>
	<i>Hypnea spinella</i>
	<i>Hypnea valentiae</i>
Dasyaceae	<i>Dasya baillouviana</i>
	<i>Dasya caraibica</i>
	<i>Dasya harveyi</i>
	<i>Dasya ocellata</i>
	<i>Dasya rigidula</i>
	<i>Heterosiphonia crispella</i>
	<i>Heterosiphonia gibbesii</i>
Dasycladaceae	<i>Neomeris annulata</i>
	<i>Batophora occidentalis</i>
	<i>Batophora oerstedii</i>
	<i>Dasycladus vermicularis</i>
	<i>Neomeris annulata</i>
Delesseriaceae	<i>Caloglossa leprieurii</i>
	<i>Hypoglossum involvens</i>
Derbesiaceae	<i>Derbesia vaucheriaeformis</i>
	<i>Derbesia marina</i>
	<i>Derbesi sp</i>
	<i>Pedobesia simplex</i>
Dichotomosiphonaceae	<i>Avrainvillea asarifolia</i>
	<i>Avrainvillea fibrosa</i>
	<i>Avrainvillea longicaulis</i>
	<i>Avrainvillea nigricans</i>
	<i>Cladocephalus luteofuscus</i>
Dictyotaceae	<i>Dictyopteris delicatula</i>
	<i>Dictyopteris justii</i>
	<i>Dictyota bartayresiana</i>
	<i>Dictyota caribaea</i>
	<i>Dictyota cervicornis</i>
	<i>Dictyota crenulata</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Dictyota crispata</i>
	<i>Dictyota dichotoma</i>
	<i>Dictyota divaricata</i>
	<i>Dictyota menstrualis</i>
	<i>Dictyota pinnatifida</i>
	<i>Dictyota pulchella</i>
	<i>Dictyota volubilis</i>
	<i>Lobophora variegata</i>
	<i>Padina boergesenii</i>
	<i>Padina gymnospora</i>
	<i>Padina sp.</i>
	<i>Styopodium zonale</i>
Galaxauraceae	<i>Tricleocarpa fragilis</i>
	<i>Galaxaura rugosa</i>
	<i>Galaxaura sp</i>
Gracilariaceae	* <i>Crassiphycus caudatus</i>
	<i>Gracilaria cervicornis</i>
	<i>Gracilaria verrucosa</i>
	<i>Gracilaria sp.</i>
Halimedaceae	<i>Halimeda copiosa</i>
	<i>Halimeda discoidea</i>
	<i>Halimeda goreauii</i>
	<i>Halimeda gracilis</i>
	<i>Halimeda incrassata</i>
	<i>Halimeda lacrimosa</i>
	<i>Halimeda monile</i>
	<i>Halimeda opuntia</i>
	<i>Halimeda scabra</i>
	<i>Halimeda tuna</i>
Halymeniaceae	<i>Grateloupia filicina</i>
	<i>Halymenia duchassaingii</i>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Halymenia sp.</i>
Hydrolithaceae	<i>Hydrolithon boergesenii</i>
Liagoraceae	<i>Ganonema pinnatum</i>
	* <i>Liagora mucosa</i>
	<i>Liagora sp.</i>
Lithophyllaceae	<i>Amphiroa fragilissima</i>
	<i>Amphiroa rigida</i>
	<i>Amphiroa tribulus</i>
Lomentariaceae	<i>Ceratodictyon intricatum</i>
	<i>Lomentaria baileyana</i>
Mesophyllaceae	<i>Mesophyllum mesomorphum</i>
Polyphysaceae	<i>Acetabularia calyculus</i>
	<i>Acetabularia crenulata</i>
	<i>Polyphysa polyphysoides</i>
Rhipiliaceae	<i>Rhipilia tomentosa</i>
Rhizophyllidaceae	<i>Ochtodes secundiramea</i>
Rhodomelaceae	<i>Acanthophora muscoides</i>
	<i>Acanthophora spicifera</i>
	<i>Bostrychia montagnei</i>
	<i>Bostrychia tenella</i>
	<i>Bryocladia cuspidata</i>
	<i>Bryothamnion seaforthii</i>
	* <i>Alsidium triquetrum</i>
	<i>Chondria baileyana</i>
	<i>Chondria capillaris</i>
	<i>Chondria littoralis</i>
	<i>Chondria sp.</i>
	<i>Chondriopsis dasyphylla f. pyrifera</i>
	<i>Digenea simplex</i>
<i>Laurencia microcladia</i>	
<i>Laurencia obtusa</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Laurencia papillosa</i>
	<i>Laurencia poiteaui</i>
	<i>Murrayella pericladus</i>
	* <i>Palisada perforata</i>
	<i>Polysiphonia ramentacea</i>
	<i>Polysiphonia sp.</i>
Rhodymeniaceae	<i>Botryocladia occidentalis</i>
	<i>Botryocladia pyriformis</i>
	<i>Botryocladia sp.</i>
Sargassaceae	<i>Sargassum fluitans</i>
	<i>Sargassum hystrix</i>
	<i>Sargassum natans</i>
	<i>Sargassum platicarpum</i>
	<i>Sargassum polyceratium</i>
	<i>Turbinaria turbinata</i>
Siphonocladaceae	<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>
Solieriaceae	<i>Eucheuma isiforme</i>
	<i>Meristotheca gelidium</i>
	<i>Solieria filiformis</i>
	<i>Wurdemannia miniata</i>
Spyridiaceae	<i>Spyridia filamentosa</i>
	<i>Spyridia sp.</i>
Udoteaceae	<i>Boodleopsis pusilla</i>
	<i>Penicillus capitatus</i>
	<i>Penicillus dumetosus</i>
	<i>Penicillus lamourouxii</i>
	<i>Penicillus pyriformis</i>
	<i>Rhipocephalus phoenix</i>
	<i>Rhipocephalus phoenix f.brevifolius</i>
	<i>Rhipocephalus phoenix f.longifolius</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Udotea conglutinata</i>
	<i>Udotea cyathiformis</i>
	<i>Udotea fibrosa</i>
	<i>Udotea flabellum</i>
	<i>Udotea occidentalis</i>
	<i>Udotea spinulosa</i>
	<i>Udotea wilsonii</i>
Ulvaceae	<i>Enteromorpha sp</i>
	<i>Ulva linza</i>
Valoniaceae	<i>Valonia macrophysa</i>
	<i>Valonia utricularis</i>
	<i>Valonia ventricosa</i>
Wrangeliaceae	<i>Wrangelia argus</i>
Spongitaceae	<i>Neogoniolithon strictum</i>
<b>Cyanobacteria</b>	
Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya sp.</i>
Phormidiaceae	<i>Symploca sp.</i>
<b>Magnoliophyta</b>	
Cymodoceaceae	<i>Syringodium filiforme</i>
	<i>Halodule wrightii</i>
Hydrocharitaceae	<i>Halophila engelmannii</i>
	<i>Thalassia testudinum</i>

\**Gracilaria caudata* cambió a *Crassiphycus caudatus*. Gurgel, J.N. Norris & Fredericq, 2018 *Hydropuntia caudata* sinónimia. *Palisada poiteau*, nombre científico que ya no es aceptado, el nombre aceptado es *Laurencia poiteaui*. *Palisada perforata* antes *Laurencia paillosa* (Bory) K.W.Nam, 2007. *Liagora mucosa* cambió a *Gloiocallis dendroidea* (P.Crouan & H.Crouan) Showe M.Lin, Huisman & D.L.Ballantine, 2014. *Bryothamnion triquetrum* cambió a *Alsidium triquetrum* (S.G.Gmelin) Trevisan, 1845 (World Register of Marine Species).

**Tabla 14.** Listado de especies de otros INVERTEBRADOS con distribución potencial dentro del SAR.

Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
<b>Coralimorfo</b>	
Ricordeidae	<i>Ricordea florida</i>
<b>Anémonas</b>	
Actiniidae	<i>Condylactis gigantea</i>
	<i>Actinostella flosculifera</i>
	<i>Anemonia sargassensis</i>
	<i>Bunodosoma granuliferum</i>
Aiptasiidae	<i>Aiptasia pallida</i>
	<i>Ragactis lucida</i>
	<i>Bartholomea annulata</i>
Aliciidae	<i>Lebrunia danae</i>
Boloceroididae	<i>Bunodeopsis antillensis</i>
Homostichanthidae	<i>Homostichanthus duerdeni</i>
Phymanthidae	<i>Phymanthus crucifer</i>
Stichodactylidae	<i>Stichodactyla helianthus</i>
<b>Eponjas</b>	
Agelasidae	<i>Agelas clathrodes</i>
Aplysinidae	<i>Aplysina lacunosa</i>
	<i>Aplysina fulva</i>
	<i>Aplysina fistularis</i>
	<i>Aplysina cauliformis</i>
	<i>Aplysina archeri</i>
	<i>Aiolochoira crassa</i>
	<i>Verongula rigida</i>
<i>Verongula gigantea</i>	
Astroscleridae	<i>Goreauella auriculata</i>
Axinellidae	<i>Dragmacidon sp</i>
	<i>Ptilocaulis sp</i>
Biemnidae	<i>Neofibularia nolitangere</i>

Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Callyspongiidae	<i>Callyspongia plicifera</i>
	<i>Callyspongia vaginalis</i>
Chalinidae	<i>Haliclona tubifera</i>
Chondrillidae	<i>Chondrilla nucula</i>
Clathrinidae	<i>Clathrina canariensis</i>
Clionidae	<i>Pione lampa</i>
	<i>Cliona varians</i>
	<i>Cliona caribbaea</i>
	<i>Anthosigmella varians</i>
Crambeidae	* <i>Monanchora arbuscula</i>
	<i>Desmapsamma anchorata</i>
Dysideidae	<i>Dysidea etheria</i>
Geodiidae	<i>Geodia neptuni</i>
Irciniidae	<i>Ircinia campana</i>
	<i>Ircinia felix</i>
	<i>Ircinia strobilina</i>
	<i>Sarcotragus fasciculatus</i>
Istrochotidae	<i>Istrochota birotulata</i>
Microcionidae	<i>Clathria sp</i>
Mycalidae	<i>Mycale laevis</i>
Niphatidae	<i>Amphimedon compressa</i>
	<i>Niphates digitalis</i>
Petrosiidae	<i>Neopetrosia carbonaria</i>
Phloeodictyidae	<i>Siphonodictyon coralliphagum</i>
Pseudoceratinidae	<i>Pseudoceratina crassa</i>
Raspailiidae	<i>Ectyoplasya ferox</i>
	<i>Ectyoplasia ferox</i>
Scopalidae	<i>Scopalina hispida</i>
Tedaniidae	<i>Tedania ignis</i>
Tethyidae	<i>Tethya</i>
Thorectidae	<i>Hyrtios violaceus</i>

Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
<b>Anélidos</b>	
Amphinomidae	<i>Hermodice carunculata</i>
Eunicidae	<i>Lysidice tortugae</i>
	<i>Palola siciliensis</i>
Nereididae	<i>Ceratonereis mirabilis</i>
Phascolosomatidae	<i>Antillesoma antillarum</i>
	<i>Phascolosoma scolops</i>
Sabellidae	<i>Anamobaea orstedii</i>
	<i>Bispira brunnea</i>
	<i>Notaulax occidentalis</i>
	<i>Notaulax tuber</i>
	<i>Perkinsiana fonticula</i>
	<i>Pseudopotamilla fitzhughi</i>
Serpulidae	<i>Notaulax nudicollis</i>
	<i>Salmacina incrustans</i>
	<i>Hydroides mucronata</i>
	<i>Hydroides</i>
	<i>Hydroides parva</i>
	<i>Pseudovermilia multispinosa</i>
	<i>Pseudovermilia fuscostriata</i>
<i>Spirobranchus giganteus</i>	
Stichodactylidae	<i>Stichodactyla helianthus</i>
<b>Equinodermos</b>	
Amphiuridae	<i>Amphiodia trychna</i>
Asterinidae	<i>Asterinides folium</i>
Astropectinidae	<i>Astropecten alligator</i>
Brissidae	<i>Meoma ventricosa</i>
Cassidulidae	<i>Cassidulus caribaeorum</i>
Cidaridae	<i>Eucidaris tribuloides</i>
Clypeasteridae	<i>Clypeaster roseaceus</i>
	<i>Clypeaster subdepressus</i>



Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Clypeaster roseaceus</i>
Diadematidae	<i>Diadema antillarum</i>
Echinasteridae	<i>Echinaster spinulosus</i>
Echinocyamidae	<i>Echinometra viridis</i>
Echinometridae	<i>Echinometra lucunter</i>
Echinoneidae	<i>Echinoneus cyclostomus</i>
Echinothuriidae	<i>Araeosoma fenestratum</i>
Fibulariidae	<i>Echinocyamus grandiporus</i>
Goniasteridae	<i>Pawsonaster parvus</i>
Gorgonocephalidae	<i>Astrophyton muricatum</i>
Meliitidae	<i>Mellita sp.</i>
	<i>Leodia sexiesperforata</i>
Ophiactidae	<i>Ophiactis savignyi</i>
Ophidiasteridae	<i>Linckia guildingi</i>
Ophiocomidae	<i>Ophiomastix wendtii</i>
	<i>Ophiocoma echinata</i>
	<i>Ophiocomella pumila</i>
	<i>Breviturma paucigranulata</i>
Ophiodermatidae	<i>Ophioderma rubicunda</i>
	<i>Ophioderma cinerea</i>
	<i>Ophioderma appressa</i>
	<i>Ophioderma brevicauda</i>
Ophiolepididae	<i>Ophiolepis impressa</i>
	<i>Ophiolepis paucispina</i>
	<i>Ophiolepis elegans</i>
Ophiomyxidae	<i>Ophiomyxa flaccida</i>
Ophionereididae	<i>Ophionereis reticulata</i>
	<i>Ophionereis squamulosa</i>
Ophiopsilidae	<i>Ophiopsila riisei</i>
Ophiotrichidae	<i>Ophiotrix oerstedii</i>
	<i>Ophiotrix suensoni</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
	<i>Ophiothrix lineata</i>
	<i>Ophiothrix angulata</i>
Oreasteridae	<i>Oreaster reticulatus</i>
Toxopneustidae	<i>Lytechinus variegatus</i>
	<i>Lytechinus williamsi</i>
	<i>Tripneustes ventricosus</i>
Moluscos	
Arcidae	<i>Anadara transversa</i>
	<i>Arca imbricata</i>
	<i>Arca zebra</i>
	<i>Barbatia candida</i>
	<i>Barbatia domingensis</i>
	<i>Barbatia gray</i>
Bullidae	<i>Bulla striata</i>
Cardiidae	<i>Dallocardia muricata</i>
	<i>Acrosterigma magnum</i>
	<i>Americardia media</i>
Cassidae	<i>Cassis sp</i>
	<i>Cassis tuberosa</i>
	<i>Cypraecassis testiculus</i>
Cavoliniidae	<i>Cuvierina atlantica</i>
	<i>Diacavolinia constricta</i>
	<i>Diacavolinia strangulata</i>
	<i>Diacavolinia longirostris</i>
Cerithiidae	<i>Cerithium litteratum</i>
	<i>Cerithium eburneum</i>
	<i>Cerithium sp.</i>
Chamidae	<i>Chama congregata</i>
	<i>Chama sinuosa</i>
Chitonidae	<i>Acanthopleura granulata</i>
	<i>Chiton squamosus</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Columbellidae	<i>Columbella mercatoria</i>
Conidae	<i>Conus sp.</i>
Creseidae	<i>Hyalocylis striata</i>
	<i>Creseis virgula</i>
Cypraeidae	<i>Macrocyprea zebra</i>
Diastomatidae	<i>Diastoma sp</i>
Plakobranchidae	<i>Elysia crispata</i>
Eoacmaeidae	<i>Eoacmaea pustulata</i>
Eulimidae	<i>Monogamus minibulla</i>
Fascioliariidae	<i>Hemipolygona carinifera</i>
Fissurellidae	<i>Diodora meta</i>
	<i>Diodora dysoni</i>
	<i>Fissurella barbadensis</i>
	<i>Fissurella fascicularis</i>
Hipponicidae	<i>Hipponix antiquatus</i>
Limacinidae	<i>Limacina trochiformis</i>
	<i>Heliconoides inflatus</i>
Limidae	<i>Lima lima</i>
Littorinidae	<i>Echinolittorina angustior</i>
	<i>Littoraria angulifera</i>
Loliginidae	<i>Sepioteuthis sepioidea</i>
Lucinidae	<i>Ctena orbiculata</i>
	<i>Codakia orbicularis</i>
Mactridae	<i>Mactrotoma fragilis</i>
Marginellidae	<i>Prunum guttatum</i>
Mytilidae	<i>Brachidontes modiolus</i>
	<i>Brachidontes exustus</i>
Naticidae	<i>Sinum perspectivum</i>
Neritidae	<i>Nerita versicolor</i>
	<i>Nerita peloronta</i>
	<i>Nerita tessellata</i>

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Octopodidae	<i>Octopus sp</i>
	<i>Octopus insularis</i>
	<i>Octopus briareus</i>
	<i>Octopus maya</i>
	<i>Octopus vulgaris</i>
Ostreidae	<i>Dendostrea frons</i>
Ovulidae	<i>Cyphoma gibbosum</i>
Pectinidae	<i>Caribachlamys ornata</i>
Phasianellidae	<i>Tricolia risso</i>
Pteriidae	<i>Isognomon alatus</i>
Pteriidae	<i>Pteria colymbus</i>
Ranellidae	<i>Charonia variegata</i>
Rissoinidae	<i>Rissoina dorbignyi</i>
Semelidae	<i>Semele sp</i>
Spirulidae	<i>Spirula spirula</i>
Spondylidae	<i>Spondylus tenuis</i>
Strombidae	<i>Lobatus gigas</i>
	<i>Lobatus costatus</i>
Tegulidae	<i>Cittarium pica</i>
Tellinidae	<i>Tellina linnaeus</i>
	<i>Arcopagia fausta</i>
	<i>Eurytellina angulosa</i>
Terebridae	<i>Impages maryleeae</i>
Tonnidae	<i>Tonna pennata</i>
Turbinellidae	<i>Vasum muricatum</i>
Turbinidae	<i>Lithopoma phoebium</i>
Veneridae	<i>Timoclea s.</i>
Crustáceos	
Diogenidae	<i>Clibanarius tricolor</i>
	<i>Calcinus tibicen</i>
Epialtidae	<i>Macrocoeloma diplacanthum</i>

Otros Invertebrados	Especies potenciales
Familia	Nombre científico
Inachidae	<i>Stenorhynchus seticornis</i>
Palinuridae	<i>Panulirus argus</i>
	<i>Panulirus guttatus</i>
Paguridae	<i>Paguristes</i> sp.
	<i>Paguristes hernancortezii</i>
	<i>Paguristes puncticeps</i>
	<i>Paguristes grayi</i>
Palaemonidae	<i>Periclimenes yucatanicus</i>
Tunicado	
Didemnidae	<i>Trididemnum solidum</i>
Zoántido	
Sphenopidae	<i>Palythoa caribaeorum</i>

\**Ragactis lucida* antes *Bartholomea lucida*. *Monachora arbuscula* antes *M. unguifera* (World Register of Marine Species).

#### IV.2.2.3.3 Caracterización de la biota marina a través de muestreo en campo.

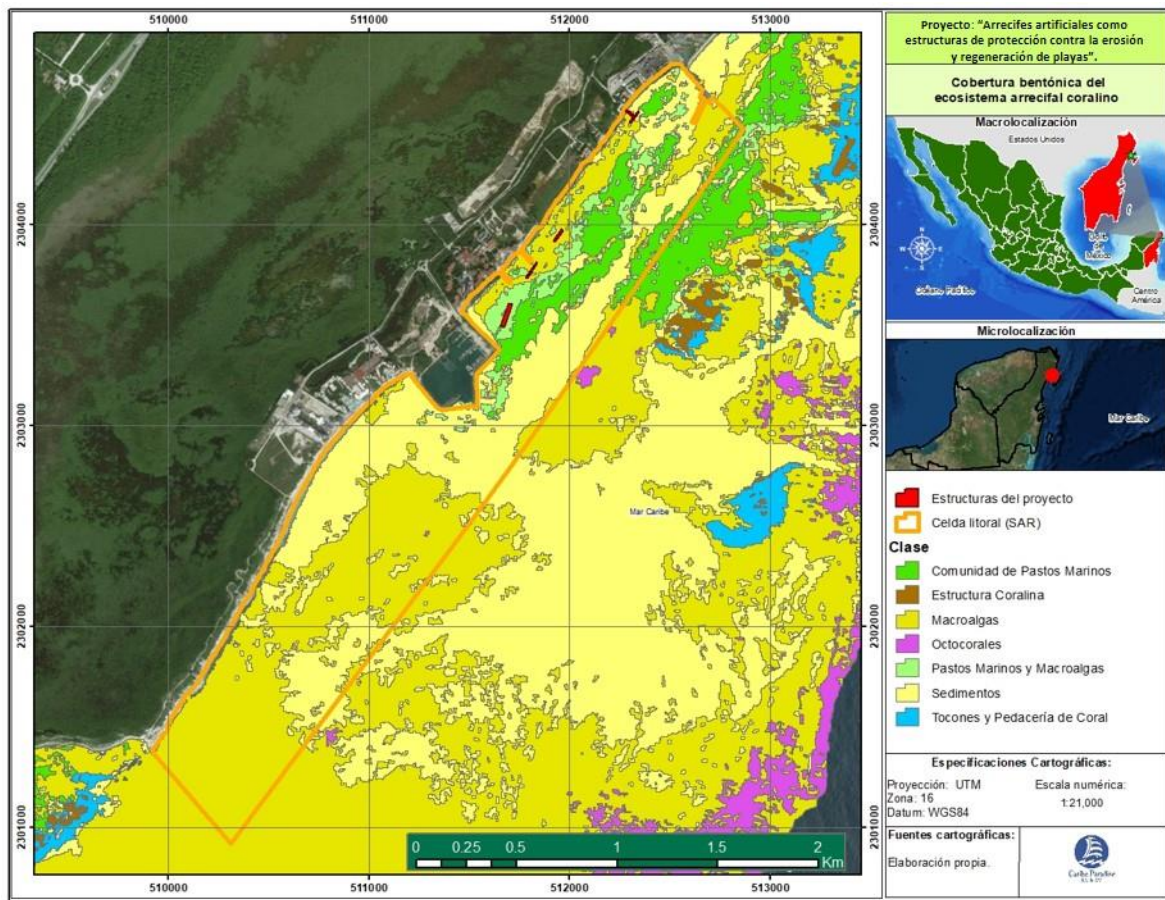
El muestreo en campo se realizó considerando la heterogeneidad del ambiente marino por lo que con base en esto, se definieron en primera instancia los tipos de ambiente presentes en el SAR delimitado para el proyecto siguiendo la metodología descrita a continuación.

#### IV.2.2.3.4 Tipos de ambientes en el Área de Estudio

Con el fin de definir los principales tipos de ambientes en el Área de Estudio, se realizó en primer lugar, un análisis de fotografía aérea con dron (TEO Consultoría Ambiental S.C. 2018) (Figura 39), y, en segundo lugar, se tomó en cuenta el mapa de Cobertura Bentónica de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche-Xcalak (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018) (Figura 74). Este mapa representa la distribución espacial y extensión de la cobertura bentónica de los ecosistemas marinos del Caribe mexicano, cubriendo las aguas someras del sistema arrecifal mesoamericano entre Cabo Catoche y Xcalak. Se generó a partir del análisis conjunto de las imágenes satelitales WorldView-2, la reflectancia de fondo, el relieve submarino, la batimetría satelital, la aplicación de técnicas apoyadas con

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

el conocimiento de expertos, y del análisis de datos de campo. El mapa de cobertura bentónica tiene una profundidad máxima promedio de 18 m, en el que se definieron nueve tipos de ambientes: 1) sedimentos; 2) comunidad de pastos marinos; 3) pastos marinos y macroalgas; 4) macroalgas; 5) estructura coralina; 6) tocones y pedacería de coral; 7) octocorales; 8) octocorales y corales; y 9) arrecife rocoso (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018).



**Figura 74.** Mapa de cobertura bentónica de los ecosistemas marinos del caribe mexicano: Cabo Catoche-Xcalak (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018).

Esta información (fotografía aérea tomada con dron y mapa con nueve ambientes marinos; Cerdeira-Estrada *et al.* 2018) sirvió como guía para realizar un reconocimiento subacuático con el fin de corroborar en campo el tipo de sustrato



y comunidad bentónica dominante. A continuación, se describe como se realizó este reconocimiento subacuático.

### IV.2.2.3.4.1 Muestreo de tipos de ambientes

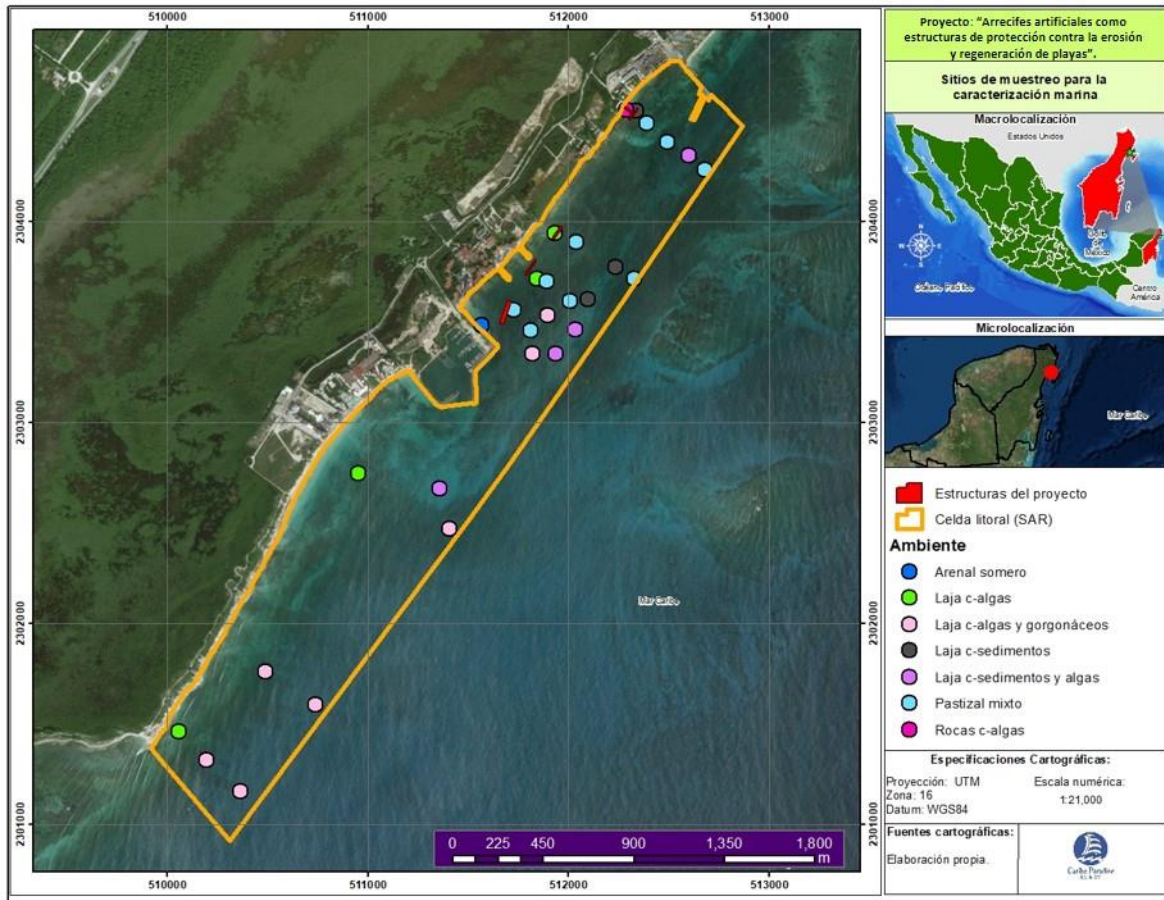
Para identificar y delimitar los tipos de ambientes, así como generar un mapa que represente la estructura general de la biota marina, se realizó el muestreo del SAR en dos épocas del año, lluvias (11 y 12 de agosto de 2018) y secas (18 y 19 de enero y 9 de febrero de 2019) en 29 puntos de muestreo (Anexo IV.1). Con el fin de tener un muestreo representativo del Área de Estudio, el número y distribución de los puntos de muestreo se determinó tomando como base los nueve tipos de ambientes del mapa de Cobertura Bentónica de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche-Xcalak (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018) (Figura 74).

A continuación, se incluyen las coordenadas de los sitios de muestreo, así como su respectivo mapa.

**Tabla 15.** Coordenadas UTM de los sitios de muestreo en el Área de Estudio.

ID	Coordenadas UTM		ID	Coordenadas UTM	
	X	Y		X	Y
1.1	512,290	2,304,556	3.6	512,036	2,303,463
1.1 A	512,338	2,304,554	4	511,569	2,303,484
1.2	512,393	2,304,488	4.1	511,730	2,303,562
1.3	512,492	2,304,398	4.2	511,812	2,303,460
1.4	512,600	2,304,328	4.3	511,823	2,303,343
1.5	512,678	2,304,257	4.4	511,938	2,303,344
2.1	511,933	2,303,943	5.1	510,954	2,302,749
2.2	512,039	2,303,899	5.2	511,359	2,302,670
2.3	512,234	2,303,773	5.3	511,410	2,302,473
2.4	512,329	2,303,716	6.2	510,490	2,301,762
3.1	511,843	23,037,150	6.3	510,741	2,301,595
3.2	511,894	2,303,703	7.1	510,060	2,301,460
3.3	512,010	2,303,606	7.2	510,200	2,301,320
3.4	511,899	2,303,533	7.3	510,366	2,301,163
3.5	512,097	2,303,616			

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 75.** Sitios de muestreo en el Área de Estudio.

En este muestreo, se registró información sobre el tipo de ambiente, tipo de sustrato, profundidad, comunidad bentónica dominante, así como un levantamiento de la lista de especies de los principales grupos taxonómicos.

### IV.2.2.3.4.2 Muestreo de la biota marina en el Sistema Ambiental Regional

Para identificar a la biota marina que existe en el polígono del Sistema Ambiental Regional (SAR: 267.37 Ha), se realizó un muestreo intensivo en dos épocas del año los días 11 y 12 de agosto de 2018 (lluvias), así como 18 y 19 de enero y 9 de febrero de 2019 (secas). Con respecto al material y equipo empleado para realizar los muestreos de campo se utilizó una tabla de acrílico, lápiz, lija, geoposicionador,

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

cintas métricas, cámaras fotográficas contra agua, boyas, pesos muertos, cuerdas, así como equipos de buceo.



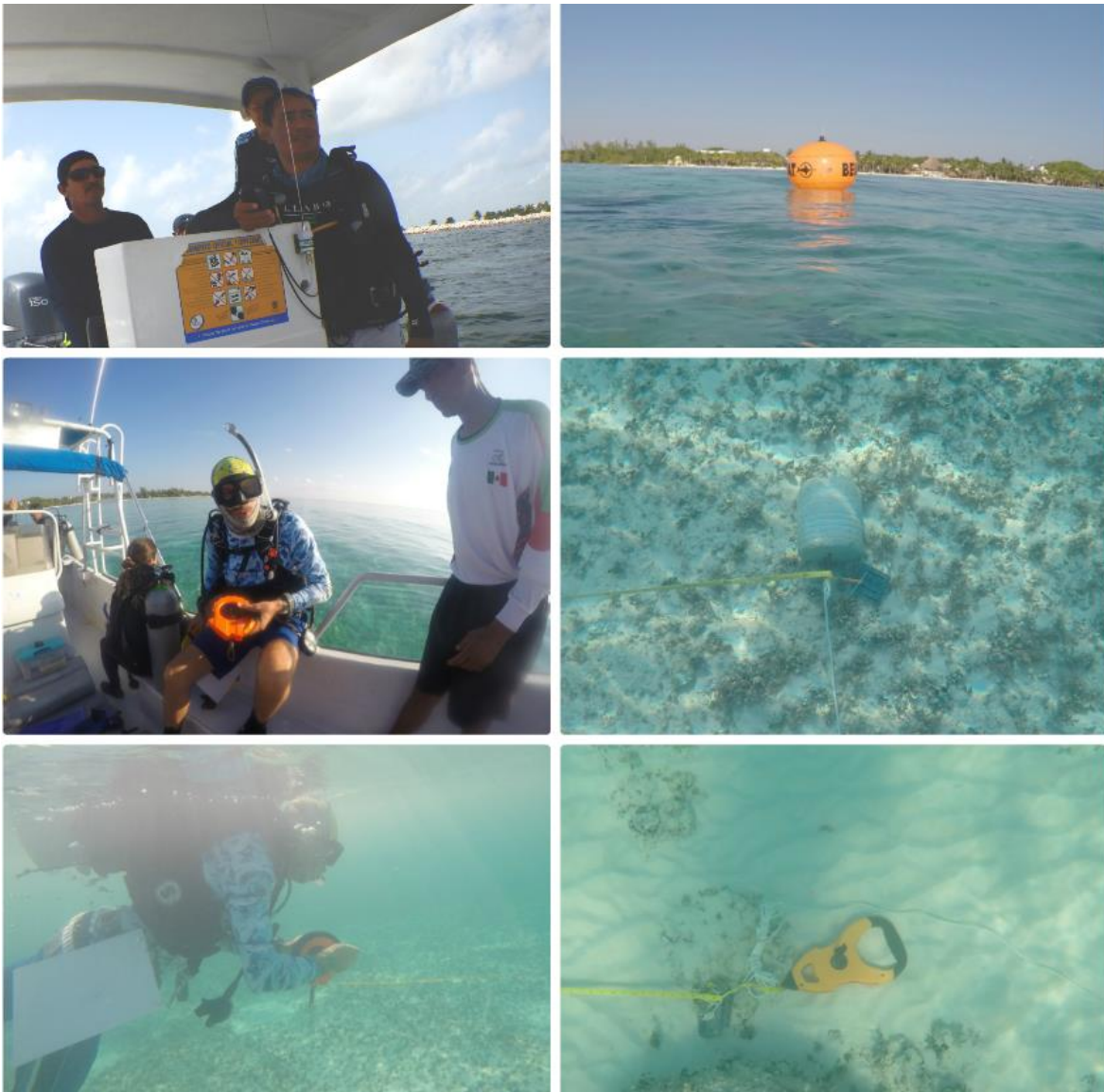
**Figura 76.** Material y equipo para la caracterización biológica marina.

Un método convencional para caracterizar a los arrecifes del Caribe mexicano es a través del uso de transectos (Gutiérrez *et al.* 1993, 1995, Lara *et al.* 1994a, 1994b, Padilla *et al.* 1994), por lo que se establecieron 29 transectos a través del SAR. La longitud de cada transecto fue de 50 m (Loya 1972). El extremo de cada transecto representó la coordenada del punto de muestreo utilizado para generar el mapa



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

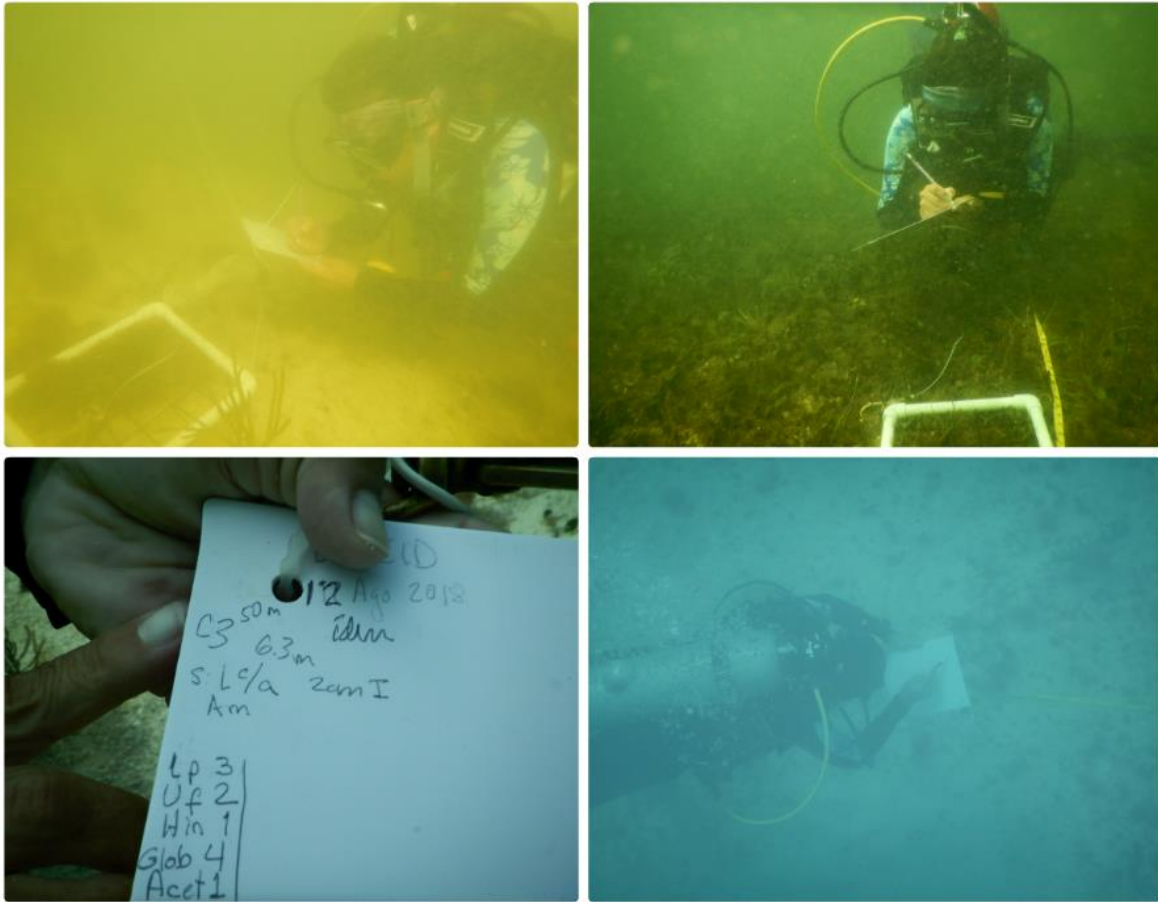
de ambientes (Tabla 15, Figura 75). Los sitios de muestreo fueron los mismos, para las dos épocas del año. Durante el muestreo en campo, se realizaron recorridos para ubicar la coordenada de inicio del transecto; una vez detectado el punto, se instaló una boya en el extremo del transecto, amarrada a un peso muerto. El transecto, por lo general, se colocó paralelo a la línea de costa y en dirección noreste o suroeste, dependiendo de la zona de interés a muestrear.



**Figura 77.** Recorridos en búsqueda de la coordenada programada, así como instalación del transecto a través de boya, peso muerto y cinta métrica.

Asimismo, con el fin de tener un muestreo representativo de toda la estructura arrecifal del SAR, el método de muestreo empleado fue el estratificado, el cual considera la división del área de estudio en áreas menores que se considera que tienen características homogéneas. En este sentido, el número y distribución de los transectos de muestreo se determinó tomando como base los nueve tipos de ambientes del mapa de Cobertura Bentónica de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche-Xcalak (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018) (Figura 74), así como la zonificación propuesta para los arrecifes de la región (Gutiérrez *et al.* 1993, Padilla *et al.* 1994), reconociendo la ausencia de algunas zonas estructurales en ciertos sitios. Esta variabilidad de la estructura del arrecife a lo largo del área de estudio genera diferencias en el perfil arrecifal y en la biota marina asociada, los cuales están relacionados con el tipo de ambiente. Por lo tanto, el número de transectos de muestreo fue distinto en cada ambiente, en función de su extensión y heterogeneidad ambiental.

Los principales grupos taxonómicos muestreados fueron: 1) **Escleractinios** (corales duros), 2) **Gorgonáceos** (corales blandos), 3) **Vegetación marina** (macroalgas y pastos marinos), **Ictiofauna** (peces arrecifales), y, 5) **Otros invertebrados**. Durante los muestreos se tomaron registros de las especies, el número de individuos por especie; también se estimó el tamaño de los individuos y se registró la condición de los mismos, para detectar mortalidad o algún otro tipo de daño, así como la morfología de las colonias (figura siguiente).



**Figura 78.** Toma de datos a lo largo de los transectos durante el muestreo.

Para los **gorgonáceos** (corales blandos), **ictiofauna** e **invertebrados**, se aplicó un metro de ancho a cada lado del transecto de 50 m; respecto a los peces, se registraron además los presentes en la columna de agua, mientras que para la **biota bentónica** se tomaron datos a dos metros a cada lado del transecto.





**Figura 79.** Muestreo a uno y dos metros a cada lado del transecto de 50 m.

Para el caso de la **vegetación marina** (macroalgas y pastos marinos) se colocaron cuadrantes de 625 cm<sup>2</sup> cada 10 m sobre el transecto; el cuadrante se dividió cada 5x5 cm y se contó el número de cuadros que ocupa cada especie.

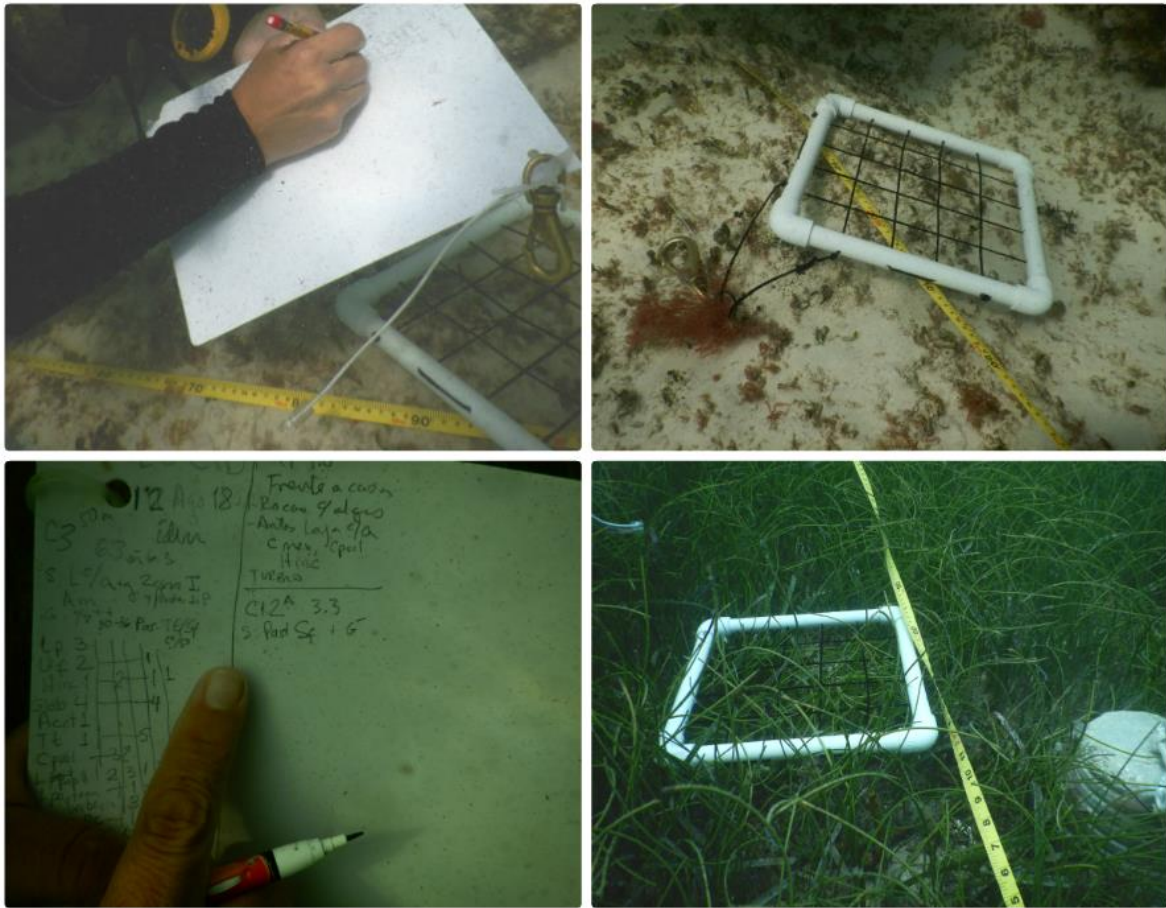


Figura 80. Muestreo de vegetación marina con cuadrantes de 625 cm<sup>2</sup>.

La identificación de especies se determinó *in situ* y se utilizaron claves y guías de campo para **escleractinios** (Smith 1972, Greenberg y Greenberg 1977, Castañares y Soto 1982, Zlatarsky y Martínez 1982, Colin 1988 y Humann 1993a), **gorgonáceos** (Cairns 1977, Bayer 1961, Bayer, *et al.* 1983, Humman 1993a), **peces** (Chaplin 1972, Greenberg y Greenberg 1977, Stokes 1984) y **algas** (Littler *et al.* 1989, Humman 1993a).

#### IV.2.2.3.4.3 Muestreo en áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales

Además de realizar muestreos a través del Sistema Ambiental Regional, también se realizó un muestreo intensivo en el área propuesta para la

instalación de arrecifes artificiales (estructuras de protección costera), con la intención de realizar una caracterización biológica marina en dichas áreas.

Para la caracterización biológica marina, se utilizaron cuatro transectos con la longitud que tendrán las estructuras propuestas. El muestreo se realizó los días 11 de agosto de 2018 (época de lluvias), 18 de enero y 9 de febrero de 2019 (época de secas), utilizándose el método de muestreo descrito en el apartado IV.2.2.3.4.2 Muestreo de la biota marina en el Sistema Ambiental Regional. A continuación, se incluyen las coordenadas de los transectos de muestreo, así como su respectivo mapa.

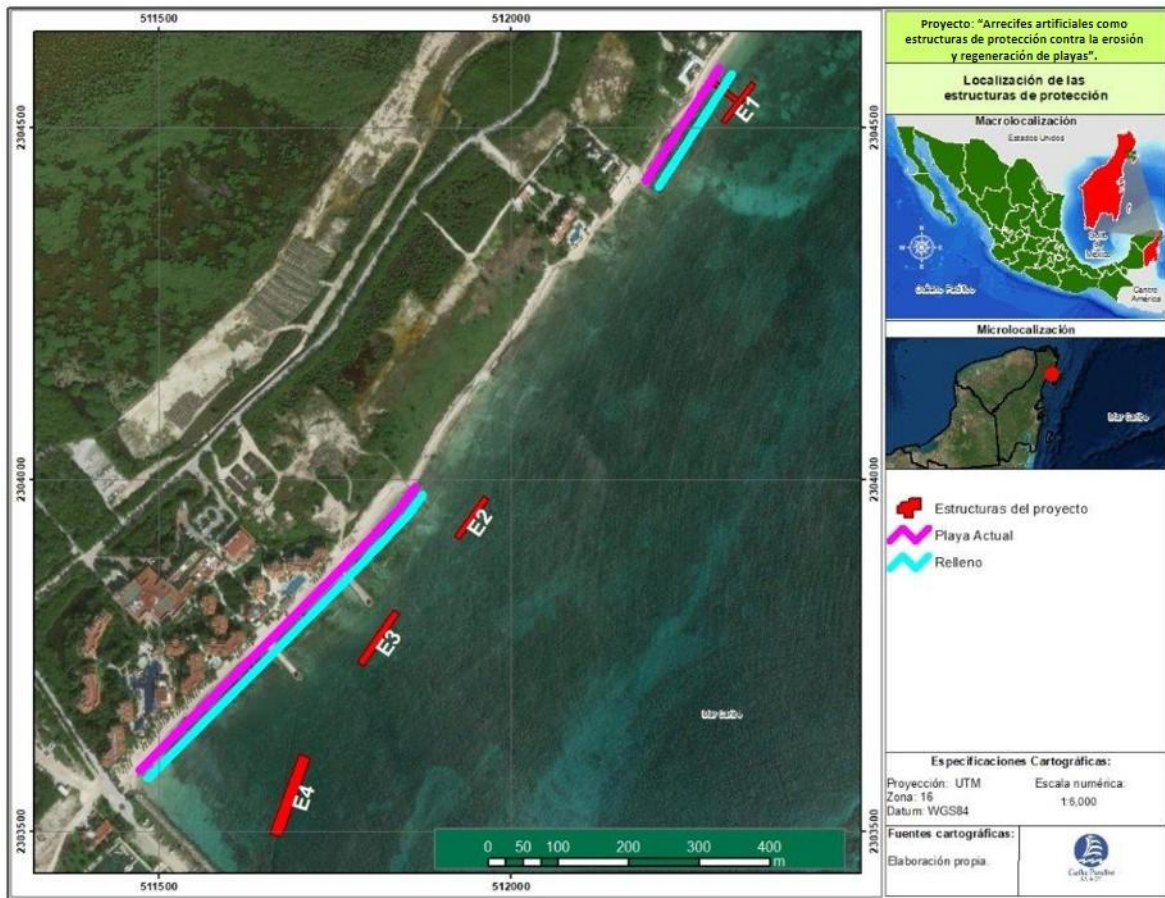
**Tabla 16.** Coordenadas UTM de los arrecifes artificiales donde se realizó el muestreo biológico marino.

Estructuras	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
E1	1	512342.82	2304565.52
	2	512348.23	2304561.25
	3	512304.91	2304506.26
	4	512299.49	2304510.53
	5	512323.29	2304540.73
	6	512319.01	2304535.31
	7	512279.74	2304566.26
	8	512284.01	2304571.68
E2	1	511962.46	2303977.23
	2	511968.87	2303972.61
	3	511927.96	2303915.81
	4	511921.55	2303920.43
E3	1	511826.82	2303803.21
	2	511834.48	2303797.94
	3	511783.39	2303723.84

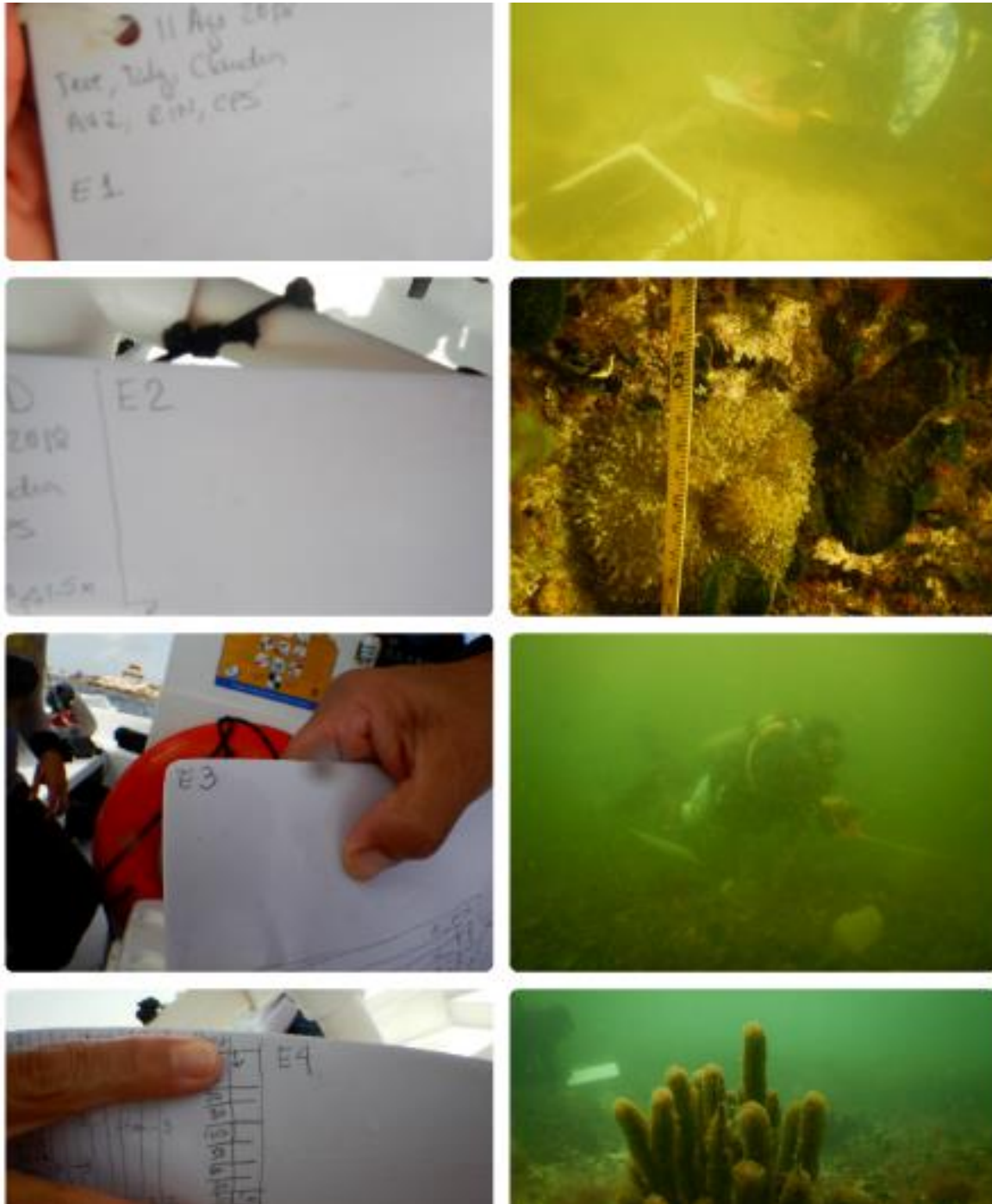


## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Estructuras	Puntos	Coordenadas UTM	
		X	Y
	4	511775.73	2303729.12
<b>E4</b>	1	511696.68	2303614.6
	2	511712.05	2303608.9
	3	511670.23	2303496.4
	4	511654.87	2303502.1



**Figura 81.** Sitios de muestreo sobre las áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).



**Figura 82.** Evidencia fotográfica del muestreo realizado en las cuatro áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).



Cabe señalar, que **se tuvo que muestrear en dos diferentes lugares para determinar el sitio idóneo para la instalación de la estructura E1 y E4**, de tal forma que el arrecife artificial no afecte la biota marina del área y que conserve su función de protección de acuerdo con el Informe Técnico del Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort (Anexo II.1).

#### **IV.2.2.3.4.4 Muestreo en bancos de arena**

Con el propósito de realizar una caracterización biológica marina en las posibles zonas de extracción de arena para la regeneración de playa seca, el promovente realizó muestreos en la Zona de acumulación “A” (denominado banco A en Anexo IV.1), banco de arena B (Anexo IV.1), banco de arena C (Anexo IV.1) y Zona de acumulación “G” (denominado banco D en Anexo IV.1). En cada zona de acumulación (*i.e.*, bancos de arena o zona de extracción) se colocaron dos transectos de 50 m cada uno, para la caracterización biológica marina, aplicando el método de muestreo descrito en el apartado IV.2.2.3.4.2 Muestreo de la biota marina en el Sistema Ambiental Regional. Los muestreos en las zonas de acumulación se realizaron los días 11 y 12 de agosto de 2018.

Cabe recordar que los **sitios propuestos como zonas de extracción de arena para el presente proyecto corresponden a las zonas de acumulación “A” y “G”** (Capítulo II, Anexo II.8). Referente a los bancos de arena B y C (Anexo IV.1), sólo se realizó el muestreo biológico debido a que pueden ser alternativas como zonas donadoras de arena a futuro. A continuación, se incluyen las coordenadas de los sitios de muestreo, así como su respectivo mapa. Con respecto a la Zona de Acumulación G, no se establecieron transectos de muestreo biológico, por tal motivo no se incluyen coordenadas.

**Tabla 17.** Coordenadas UTM de los sitios de muestreo en los bancos de arena.

Banco	Coordenadas UTM	
	X	Y
A	511,518.00	2,303,536.00
	511,569.00	2,303,484.00
B	511,899.00	2,303,533.00
	511,812.00	2,303,460.00
	511,823.00	2,303,343.00

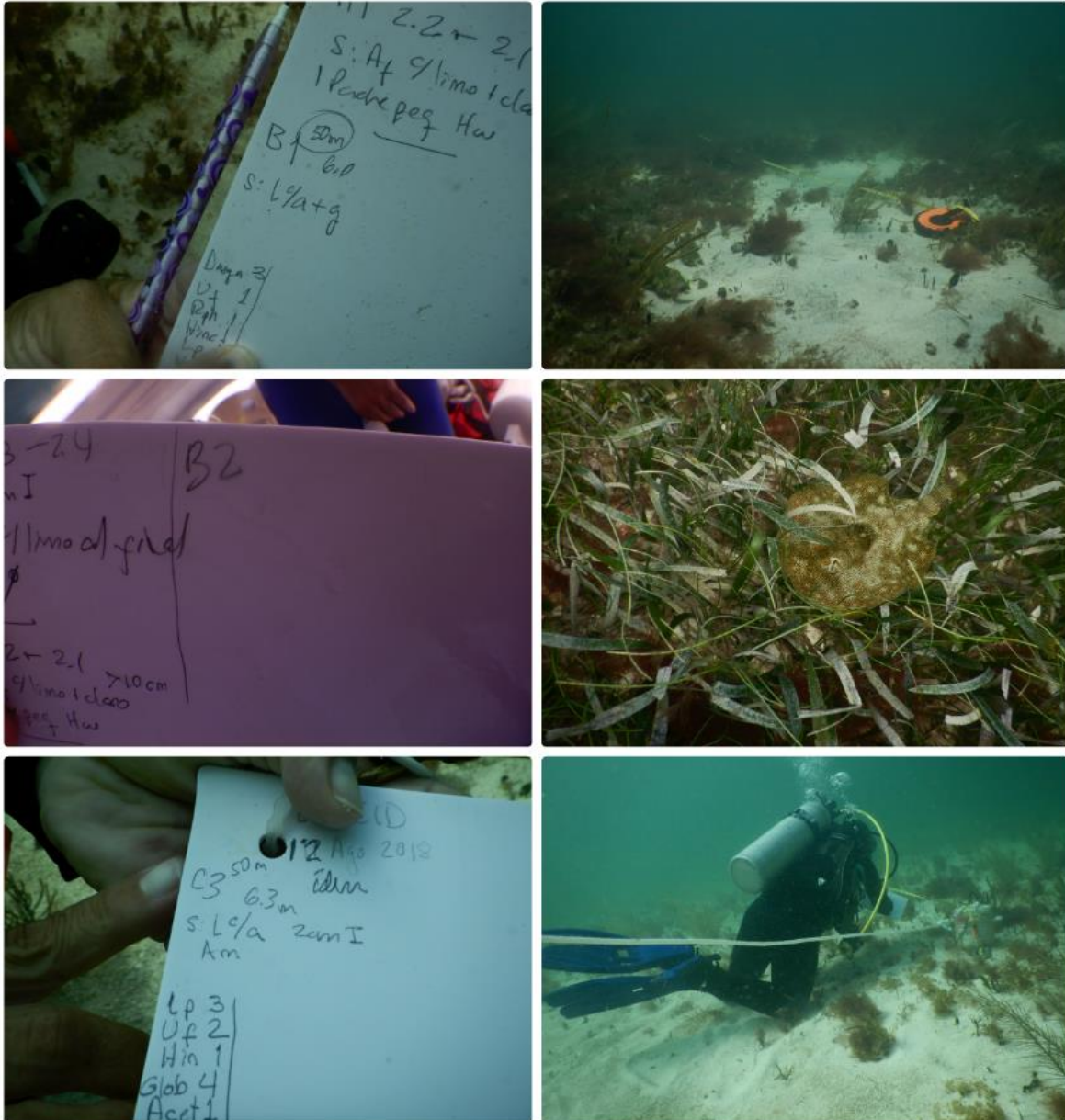


## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

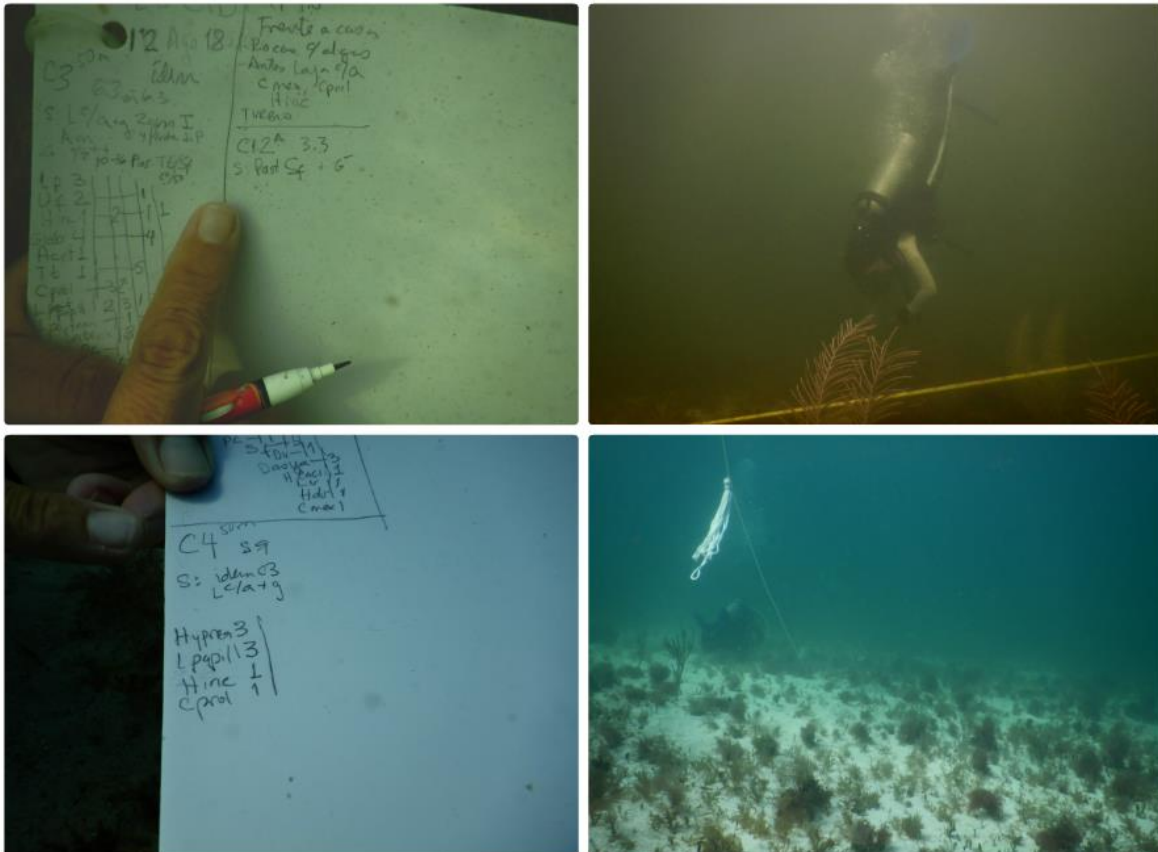
Banco	Coordenadas UTM	
	X	Y
C	512,097.00	2,303,616.00
	512,010.00	2,303,606.00
	512,036.00	2,303,463.00
	511,938.00	2,303,344.00



**Figura 83.** Sitios de muestreo biológico marino en las posibles zonas de extracción de arena.



**Figura 84.** Evidencia fotográfica del muestreo realizado en las zonas de acumulación de arena (bancos de arena).



**Figura 85.** Evidencia fotográfica del muestreo realizado en las zonas de acumulación de arena (bancos de arena).

#### IV.2.2.3.4 Análisis de datos

A partir de la información recabada en los muestreos de campo, se realizó un análisis de las comunidades de organismos arrecifales (**escleractinios, gorgonáceos, vegetación marina, ictiofauna e invertebrados**) registrados en: 1) el Sistema Ambiental Regional, 2) las áreas propuestas para la instalación de los arrecifes artificiales (estructuras de protección costera) y 3) las posibles áreas donadoras de arena o bancos de arena. Esta evaluación permite conocer la condición actual en la que se encuentra la comunidad de organismos arrecifales, así como emitir un diagnóstico ambiental del área de estudio.

Este análisis se realizó a través de la determinación de su riqueza de especies, composición de especies (Lista de especies), grupos funcionales (en peces,





macroalgas y pastos marinos), así como la evaluación de la distribución, abundancia, diversidad, equitabilidad, estructura de tallas, formas de crecimiento y condiciones de los organismos (para corales blandos). A continuación, se explica cada uno de ellos.

#### **IV.2.2.3.4.1 Abundancia**

Para todos los grupos biológicos muestreados (**escleractinios, gorgonáceos vegetación marina, ictiofauna e invertebrados**) se realizó una estimación de la **abundancia**. Para el caso de los **escleractinios y las algas**, se hizo una estimación de la cobertura de cada uno de estos grupos, expresada como el porcentaje de tejido vivo que cada uno ocupó en el transecto. Con respecto a los **gorgonáceos e ictiofauna** (peces arrecifales), se hizo una estimación de densidad con base en el número de colonias/individuos que se encontraron por metro cuadrado del área de muestreo.

También se incluye una **lista de especies** por grupo biológico con un estimador de abundancia relativa por especie para cada una de las áreas de muestreo: **1) Sistema Ambiental Regional, 2) posibles áreas donadoras de arena y 3) áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera)**. Este estimador de abundancia relativa se presenta en categorías, de acuerdo a lo descrito en la siguiente tabla.

**Tabla 18.** Categorías de abundancia relativa y definición de su rango.

<b>Categoría</b>	<b>Abreviación</b>	<b>Rango de abundancia relativa</b>
Dominante	D	> 20 %
Abundante	A	10 – 20 %
Común	C	5 – 10 %
Escaso	E	1 – 5 %
Raro	R	< 1 %

Cabe mencionar que las listas de especies no incluyen los nombres comunes de las especies, porque la mayoría no lo tiene definido.

#### IV.2.2.3.4.2 Diversidad

Para cada grupo biológico y **área de muestreo (1. Sistema Ambiental Regional, 2. áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales o estructuras de protección costera y 3. posibles áreas donadoras de arena)**, se obtuvo su riqueza de especies (S), índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), así como una medida de la heterogeneidad a través del valor de Equitabilidad (Índice de Pielou: J').

La **Riqueza de especies (S)**, es el número total de especies de una comunidad particular (hábitat, muestra, punto o sitio concreto, que se considera homogéneo). La riqueza de especies es la forma más sencilla de medir la biodiversidad entre comunidades (Magurran 2004).

El **Índice de equidad de Shannon-Wiener (H')**, toma en cuenta la abundancia de cada especie y qué tan uniformemente se encuentran distribuidas. Así, expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra sin tener en cuenta la distribución en el espacio. Los valores normales están entre 1 y 5. Valores bajos significan mayor dominancia, mientras que valores altos indican mayor equitatividad. La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

Dónde:

H' = Índice de equidad de Shannon-Wiener

$P_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$  =  $\frac{\text{número de individuos de la especie } i \text{ (n)}}{\text{número total de individuos de la muestra (N)}}$

$$H' = - [(p_1 \ln p_1 + p_2 \ln p_2 + p_3 \ln p_3 + \dots + p_i \ln p_i)]$$

El **Índice de Pielou (J')**, mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde

a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Moreno 2001). La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$J' = \frac{H'}{\text{Log}_2(S)}$$

Dónde:

H' = Índice de equidad de Shannon-Wiener

$\log_2 S$  = es la diversidad máxima ( $H'_{\max}$ ) que se obtendría si la distribución de las abundancias de las especies en la comunidad fuera perfectamente equitativas.

#### **IV.2.2.3.4.3 Formas de crecimiento**

Este parámetro se consideró para aquellos organismos arrecifales que crecen formando colonias, los cuales presentan un crecimiento indeterminado y cuyas formas de crecimiento pueden servir como indicadores de las condiciones ambientales a las cuales están sujetos. De esta manera se registró la forma de crecimiento de los **escleractinios** con base en categorías para cada taxón, según se presenta en la siguiente tabla. El análisis de este parámetro se muestra en los resultados como un histograma de frecuencias por categoría de forma de crecimiento por **área de muestreo: 1) Sistema Ambiental Regional, 2) posibles áreas donadoras de arena y 3) áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).**

**Tabla 19.** Categorías de formas de crecimiento para los escleractinios (corales duros).

<b>Categoría</b>	<b>Forma de crecimiento</b>
Dig	Digitiforme
Inc	Incrustante
Mas	Masiva
Ram	Ramificado
Pla	Plato



#### IV.2.2.3.4.4 Estructura de tallas

El tamaño de las colonias se registró para los **escleractinios** (corales duros), los **gorgonáceos** (corales blandos) e **ictiofauna** (peces arrecifales) con la intención de conocer la estructura de tallas de cada uno de estos grupos biológicos. Para ello, se utilizaron diferentes parámetros para estimar la talla; en el caso de los **escleractinios** se consideró el diámetro mayor de cada colonia; para los **gorgonáceos** se midió la altura máxima de cada colonia; y, para la **ictiofauna** se estimó la longitud total del cuerpo de cada pez.

El tamaño de los organismos se registró en clases de tamaño, para lo cual se definen las categorías de talla para cada grupo que se muestra en la siguiente. El análisis se presenta como un histograma de frecuencias por taxón y **área de muestreo: 1) Sistema Ambiental Regional, 2) posibles áreas donadoras de arena y 3) áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).**

**Tabla 20.** Categorías de talla para los escleractinios, gorgonáceos e ictiofauna (peces).

Clase de talla	Escleractinios (corales duros)	Gorgonáceos (corales blandos)	Ictiofauna (peces arrecifales)
I	<5 cm	<10 cm	<5cm
II	5-10 cm	10-30 cm	5-10 cm
III	10-20 cm	30-50 cm	10-20 cm
IV	20-40 cm	>50 cm	20-30 cm
V	>40 cm		>30 cm

#### IV.2.2.3.4.5 Condiciones del organismo

Esta evaluación se hizo de manera cualitativa en los **escleractinios** (corales duros) y en los **gorgonáceos** (corales blandos) por ser los organismos más importantes en cuanto a su papel ecológico y abundancia, a través del registro del tipo de daño que pudieran presentar sus colonias. Para ello, se consideraron diferentes categorías de daño dependiendo del grupo, según se explica en la tabla siguiente. El análisis se presenta como histograma de frecuencias relativas de categorías de daño por **área de muestreo: 1) Sistema Ambiental Regional, 2) posibles áreas**

donadoras de arena y 3) áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).

**Tabla 21.** Categorías de condición de los organismos para escleractinios y gorgonáceos.

Escleractinios (corales duros)		Gorgonáceos (corales blandos)	
Categoría	Condición del organismo	Categoría	Condición del organismo
Sana	Sin tejido dañado	Sana	Sin tejido dañado
Sedi	Tejido cubierto con sedimento	Daño	Tejido con algún tipo de daño
Blca	Tejido blanqueado	Enfe	Enfermedad (virus, nódulos, etc.).
Epib	Con organismos epibiontes.		

#### IV.2.2.3.4.6 Grupos funcionales

Para la **ictiofauna** (peces arrecifales) y **vegetación marina** (macroalgas y pastos marinos) se realizó un análisis de grupos funcionales. Para ello se consideró el tipo de alimentación en los peces para definir su grupo trófico, y el tipo de pigmento fotosintético presente en las algas, de acuerdo al Phylum al que pertenecen taxonómicamente, según las categorías que se especifican a continuación.

**Tabla 22.** Categorías de grupos funcionales para peces arrecifales y para la vegetación marina.

Ictiofauna (peces arrecifales)		Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos)	
Categoría	Grupo trófico	Categoría	Grupo taxonómico
Bento	Bentófago	Vcar	Clorofitas (verde) carnosas
Herbi	Herbívoro	Vcal	Clorofitas (verde) calcáreas
Ictio	Ictiófago	Roja	Rodofitas
Omni	Omnívoro	Café	Feofitas
Planc	Planctófago	Cian	Cianofita
		Pasto	Pastos marinos

Asimismo, se realizó un análisis de la distribución de frecuencias por grupo biológico de acuerdo con los grupos tróficos para los peces y los grupos taxonómicos para las algas. Las categorías se presentan en la tabla siguiente. El análisis se presenta como histograma de frecuencias relativas de categorías de grupos funcionales por **área de muestreo: 1) Sistema Ambiental Regional, 2) áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales (estructuras de protección costera) y 3) posibles áreas donadoras de arena.**

Las categorías tróficas para agrupar a los peces arrecifales de acuerdo con sus hábitos alimenticios se definen de la siguiente manera:

- Bentófago: Se alimenta de cangrejos, camarones, anélidos, gasterópodos, estomatópodos, peces.
- Herbívoro: Dieta a base de algas y pastos marinos.
- Ictiófago: Se alimentan de peces.
- Omnívoro: Consumen algas, anélidos, peces, copépodos, gasterópodos, antozoos, tunicados, cangrejos, esponjas, equinodermos.
- Planctófago: Se alimentan de cangrejos, camarones, estomatópodos, zoantarios y huevos de peces que forman el plancton.

#### IV.2.2.4 Resultados

##### IV.2.2.4.1 Descripción general del Área de Estudio

El arrecife que se desarrolla en el Área de Estudio del proyecto muestra una estructura diferente al patrón de zonación típico para la zona del Caribe Mexicano (Gutiérrez *et al.* 1993), por lo que no son claramente reconocibles las zonas y subzonas característicos. Siendo así, el ambiente marino está compuesto principalmente de una laja calcárea sin la presencia de una cresta arrecifal, y, por lo tanto, no hay presencia de una laguna arrecifal como tal, encontrando solamente un área muy reducida de pastos marinos en la parte sur del área de estudio.

##### IV.2.2.4.2 Tipos de ambientes en el Área de Estudio

En el Área de Estudio que comprende el Sistema Ambiental Regional se reconocieron siete tipos de ambientes, de acuerdo con sus características de tipo

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

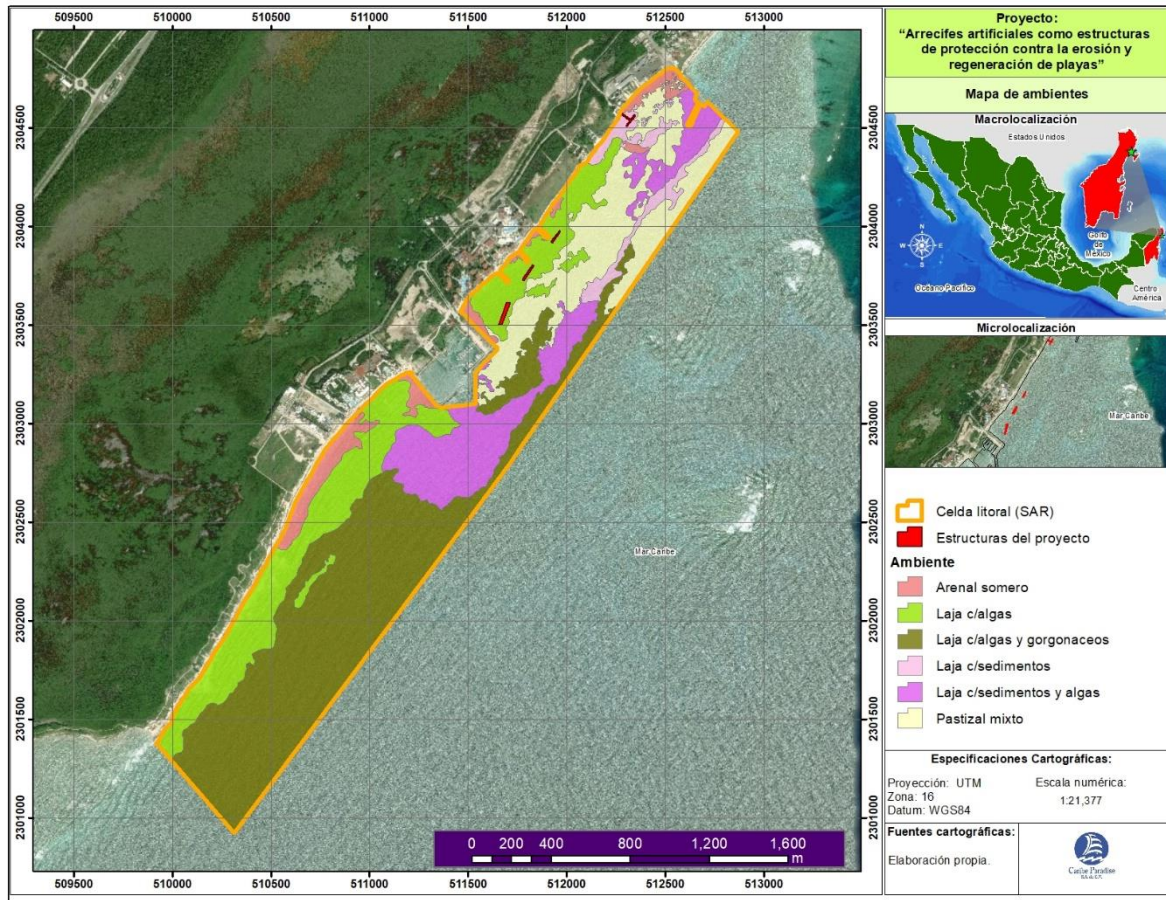
de sustrato, profundidad, topografía del lugar, así como de la biota marina dominante. Dichos ambientes son: 1) arenal somero, 2) laja con algas, 3) laja con algas y gorgonáceos, 4) laja con sedimentos, 5) laja con sedimentos y algas, 6) pastizal mixto y 7) rocas con algas. En la siguiente tabla se muestran los tipos de ambientes identificados para el Área de Estudio, así como la superficie y el porcentaje que ocupa cada uno.

**Tabla 23.** Tipo de ambiente identificado en el Área de Estudio, así como superficie (ha) y porcentaje (%) de cada uno de ellos.

Tipo de ambiente	Abreviatura	Ha	%
Arenal somero	As	13.23	4.95
Laja con algas	L/a	57.26	21.42
Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	107.63	40.25
Laja con sedimentos	L/s	6.99	2.61
Laja con sedimentos y algas	L/s+a	37.93	14.19
Pastizal mixto	Pmix	42.67	15.96
Rocas con algas	R/a	1.66	0.62
<b>Total</b>		<b>267.37</b>	<b>100</b>

A continuación, se muestra el mapa de los tipos de ambientes identificados en el Área de Estudio.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 86.** Tipos de ambientes identificados en el Área de Estudio.

A continuación, se incluye el tipo de ambiente identificado en cada sitio de muestreo intensivo para caracterizar el Sistema Ambiental Regional y las posibles áreas donadoras de arena o bancos de arena (Tabla 15 y Tabla 17). Los mismos sitios de muestreo sirvieron para realizar el mapa de ambientes del Área de Estudio (figura anterior).

**Tabla 24.** Tipos de ambientes identificados en los sitios de muestreo intensivos para caracterizar el **Sistema Ambiental Regional (SAR)** y las posibles áreas donadoras de arena o **bancos de arena (BA)**.

ID SAR	ID BA	Ambiente	Abreviatura	Coordenadas UTM	
				X	Y
1.1		Rocas con algas	R/a	512,290	2,304,556
1.1A		Laja con sedimentos	L/s	512,338	2,304,554



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

ID SAR	ID BA	Ambiente	Abreviatura	Coordenadas UTM	
				X	Y
1.2		Pastizal mixto	Pmix	512,393	2,304,488
1.3		Pastizal mixto	Pmix	512,492	2,304,398
1.4		Laja con sedimentos y algas	L/s+a	512,600	2,304,328
1.5		Pastizal mixto	Pmix	512,678	2,304,257
2.1		Laja con algas	L/a	511,933	2,303,943
2.2		Pastizal mixto	Pmix	512,039	2,303,899
2.3		Laja con sedimentos	L/s	512,234	2,303,773
2.4		Pastizal mixto	Pmix	512,329	2,303,716
3.1		Laja con algas	L/a	511,843	2,303,715
3.2		Pastizal mixto	Pmix	511,894	2,303,703
3.3	C2	Pastizal mixto	Pmix	512,010	2,303,606
3.4	B1	Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	511,899	2,303,533
3.5	C1	Laja con sedimentos	L/s	512,097	2,303,616
3.6	C3	Laja con sedimentos y algas	L/s+a	512,036	2,303,463
4	A2	Arenal somero	As	511,569	2,303,484
4.1		Pastizal mixto	Pmix	511,730	2,303,562
4.2	B2	Pastizal mixto	Pmix	511,812	2,303,460
4.3	B3	Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	511,823	2,303,343
4.4	C4	Laja con sedimentos y algas	L/s+a	511,938	2,303,344
5.1		Laja con algas	L/a	510,954	2,302,749
5.2		Laja con sedimentos y algas	L/s+a	511,359	2,302,670
5.3		Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	511,410	2,302,473
6.2		Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	510,490	2,301,762
6.3		Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	510,741	2,301,595
7.1		Laja con algas	L/a	510,060	2,301,460
7.2		Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	510,200	2,301,320
7.3		Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	510,366	2,301,163

Como se puede observar en la tabla anterior el número de transectos colocados en cada tipo de ambiente fueron: 9 en pastizal mixto (Pmix), 7 en laja con algas y gorgonáceos (L/a+g), 4 en laja con algas (L/a), 4 en laja con sedimentos y algas (L/s+a), 3 en laja con sedimentos (L/s), 1 en arena somero (As) y 1 en rocas con algas (R/a).

Es importante mencionar que las categorías que se utilizaron en el mapa de ambientes del presente estudio son diferentes a las que reconoce Cerdeira-Estrada *et al.* (2018), toda vez que se consideró que la nomenclatura y la distribución de los



mismos no siempre correspondían a la zonación arrecifal y a las observaciones de campo en cuanto al tipo de sustrato y biota marina dominante.

En primer lugar, la categoría de tipo de ambiente que se presenta en este estudio, se basa principalmente en el **tipo de sustrato** predominante en el Área de Estudio, reconociendo cuatro tipos principales de sustrato: 1) **arena**, que en algunos casos coinciden en la categoría de sedimentos de Cerdeira-Estrada *et al.* (2018); 2) **laja**, que es el más abundante en el Área de Estudio, sobre todo en la parte sur; 3) **pastizal mixto**, que sin ser propiamente un sustrato, define un ambiente muy específico, de importancia ecológica, y que es muy abundante en la parte norte del polígono del Área de Estudio; y 4) **roca**, que es poco abundante.

En la categoría de sustrato de laja, resulta evidente que se presentan algunas variaciones importantes en cuanto a la comunidad bentónica que domina cada sitio, por lo que **se consideraron cuatro variaciones, en función de la presencia de algas, sedimento y gorgonáceos, y las combinaciones entre ellos**; teniendo en total siete diferentes ambientes que se consideran para el presente estudio.

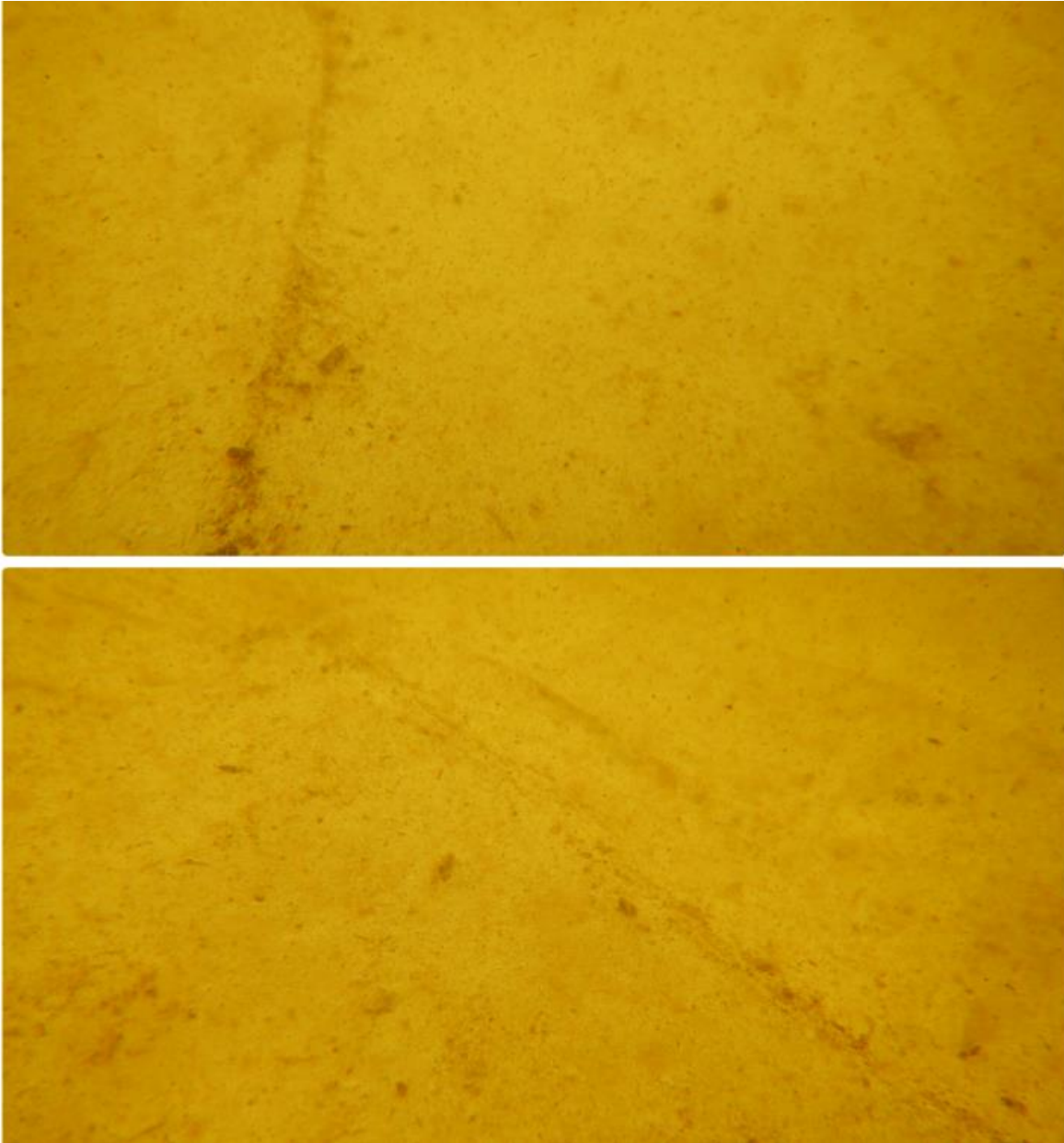
Del análisis comparativo entre el mapa de ambientes de Cerdeira-Estrada *et al.* (2018) que se presenta en este estudio (Figura 74), se observa que evidentemente existe una similitud genérica en la distribución de los ambientes, pero con ciertas diferencias que permiten que el mapa que se presenta en este estudio (Figura 86), sea de mayor utilidad para los fines del proyecto. Al respecto se considera que el mapa de Cerdeira-Estrada *et al.* (2018) (Figura 74), sobrestima la presencia del componente macroalgas, ya que en muchas ocasiones este elemento se encuentra en asociación con otros, como son los gorgonáceos, los cuales se considera que son subestimados en su cobertura y presencia en citado mapa de Cerdeira-Estrada *et al.* (2018) (Figura 74).

Bajo estas consideraciones, el mapa de ambientes que se presenta como herramienta para el presente estudio tiene definidos siete tipos de ambientes dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto. A continuación, se describe de manera general, cada tipo de ambiente reconocido en el SAR.

### IV.2.2.4.2.1 Arenal somero (A/s)

El ambiente denominado **Arenal somero (A/s)** se encuentra principalmente contiguo a la línea de costa y asociado a las estructuras artificiales que existen en el sitio como son el Muelle Fiscal, el Muelle de Cubos y Marina y los espigones de protección. Sin embargo, también se detectó una pequeña área de arenal somero que se forma a unos 100 metros de la línea de costa en la parte norte del polígono, y que tiene aproximadamente 0.5 ha de extensión. En total **este ambiente tiene una superficie de 13.23 ha**, lo que representa un 4.95% del polígono del Sistema Ambiental Regional para el proyecto.

Este sustrato presenta variaciones en la composición del sedimento, encontrando arena de grano fino y mediano en el arenal somero que se encuentra a 100 metros de la costa; mientras que el arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo. En ambos casos, no se registró biota marina sésil. La profundidad varía de 2 a 3 metros, y la visibilidad en la zona contigua a la línea de costa fue prácticamente nula durante la época de lluvias, debido a la afectación de la playa por el arribazón masivo del alga sargazo. Este ambiente solo se muestreo en época de lluvias, ya que durante la época de secas hubo ausencia de biota marina.



**Figura 87.** Arenal somero (A/s) en el Sistema Ambiental Regional del proyecto en la época de lluvias. Substrato de arena sin biota marina (el color de la fotografía es reflejo de la presencia de sargazo).

### IV.2.2.4.2.2 Laja con algas (L/a)

El sustrato denominado **Laja con algas (L/a)** forma una franja somera que corre casi a todo lo largo del Sistema Ambiental Regional, a una profundidad que va desde 1.5 m hasta 4.2 m. Este ambiente abarca una extensión de **57.26 ha**, lo que representa **21.42%** del polígono del Sistema Ambiental Regional.

Este sustrato se caracteriza por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición. La mayor parte de este tipo de ambiente presenta algas verdes calcáreas de crecimiento erecto, de los géneros *Halimeda*, *Caulerpa*, *Rhipililia*; aunque hay presencia de pasto marino en forma de parches, de la especie *Thalassia testudinum*, con hojas de 30 cm de longitud, de color verde oscuro, puntas rotas cafés y poca presencia de epífitas, y con mayor abundancia el pasto marino de la especie *Syringodium filiforme*, que en algunos puntos presentó crecimiento de cianobacterias. La presencia de gorgonáceos es escasa, siendo colonias de tamaño pequeño, principalmente de la especie *Eunicea mammosa*. Los corales también son escasos, encontrando colonias aisladas de las especies *Siderastrea siderea*, y *Pseudodiploria clivosa*. La profundidad en estos sitios varía de 0-3 metros. Se muestran imágenes de los muestreos de la época de lluvias y secas para este tipo de ambiente.





**Figura 88.** Laja con algas (L/a) en el Sistema Ambiental Regional del proyecto en la época de lluvias. Se observa la cobertura de algas, la presencia de algunos gorgonáceos y colonias de corales de la especie *Pseudodiploria strigosa* (arriba izq) y *Siderastrea siderea* (en medio der.)



**Figura 89.** Tipo de ambiente denominado laja con algas (L/a) dentro del Sistema Ambiental Regional del proyecto en la época de secas. Se observa la cobertura de algas (arriba) la presencia de algunos gorgonáceos (abajo izquierda) y la estrella de mar *Oreaster rubiginosa* (abajo derecha).

#### IV.2.2.4.2.3 Laja con algas y gorgonáceos (L/a+g)

El tipo de ambiente que se denominó **Laja con algas y gorgonáceos (L/a+g)** abarca una franja muy amplia en la parte Sur del polígono del Sistema Ambiental Regional, y se hace mucho más estrecha y corta en la parte norte. Este ambiente se distribuye desde los 4.5 metros y llega hasta los 9 metros de profundidad. En total este ambiente **abarca una extensión de 107.63 ha, lo que representa un 40.25% del polígono del Sistema Ambiental Regional.**



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

En este tipo de ambiente, el sustrato es de laja calcárea cubierta de algas, pero con presencia importante de gorgonáceos. Dentro de este ambiente se encuentran algunos parches que tienen abundantes gorgonáceos, de diversas especies y de tamaño grande; mientras que otras zonas los gorgonáceos son menos abundantes y más dispersos. La presencia de esponjas es común en estos sitios, y los corales son escasos en este tipo de ambiente. La visibilidad en estos sitios fue generalmente mejor, ya que se encontraron retirados de la línea de costa. La profundidad en estos sitios varía de 0-3 metros. Se muestran imágenes de los muestreos de la época de lluvias y secas para este tipo de ambiente.



**Figura 90.** Laja con algas y gorgonáceos (L/a+g) en el Sistema Ambiental Regional durante la época de lluvias. Se observa la variedad de gorgonáceos, creciendo sobre un sustrato de laja y algas.



**Figura 91.** Tipo de ambiente denominado Laja con algas y gorgonáceos (L/a+g) dentro del Sistema Ambiental Regional para el proyecto durante la época de secas. Se observa la presencia de gorgonáceos sobre el sustrato de laja cubierta de algas (arriba) y presencia de corales masivos de la especie *Pseudodiploria strigosa* (abajo izq.) y ramificados de la especie *Porites porites* (abajo der.).

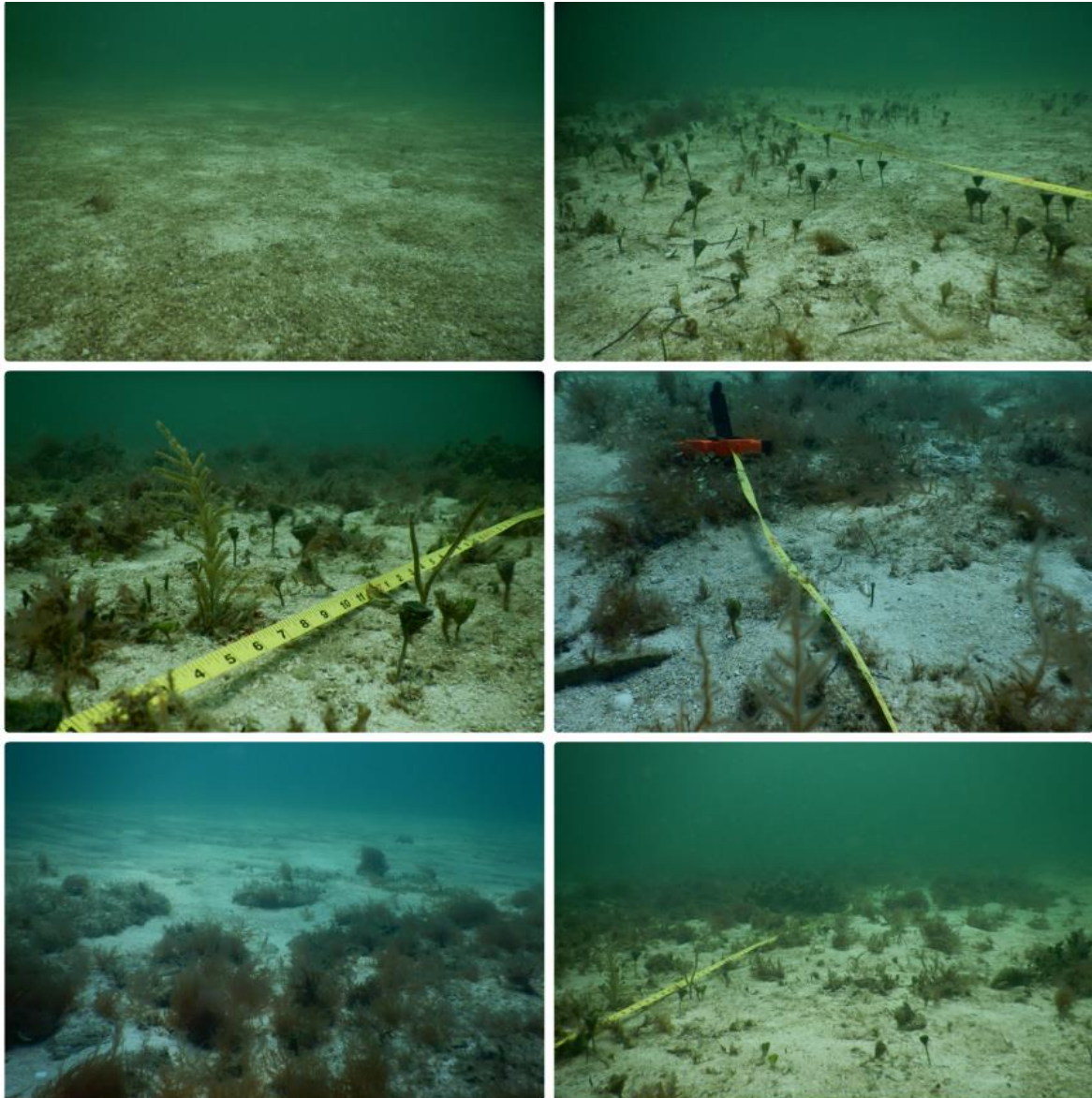
#### IV.2.2.4.2.4 Laja con sedimentos (L/s)

El sustrato que se denominó **Laja con sedimentos (L/s)** se encuentra solamente en la parte norte del polígono del Sistema ambiental Regional, dividido en dos áreas: una parte somera contigua a la línea de costa que va de 1 a 3 metros de profundidad, y otra área que forma una franja estrecha en la parte más profunda, alrededor de 7 metros. En total está área **abarca 6.99 ha, lo que representa 2.61% del Sistema Ambiental Regional.**

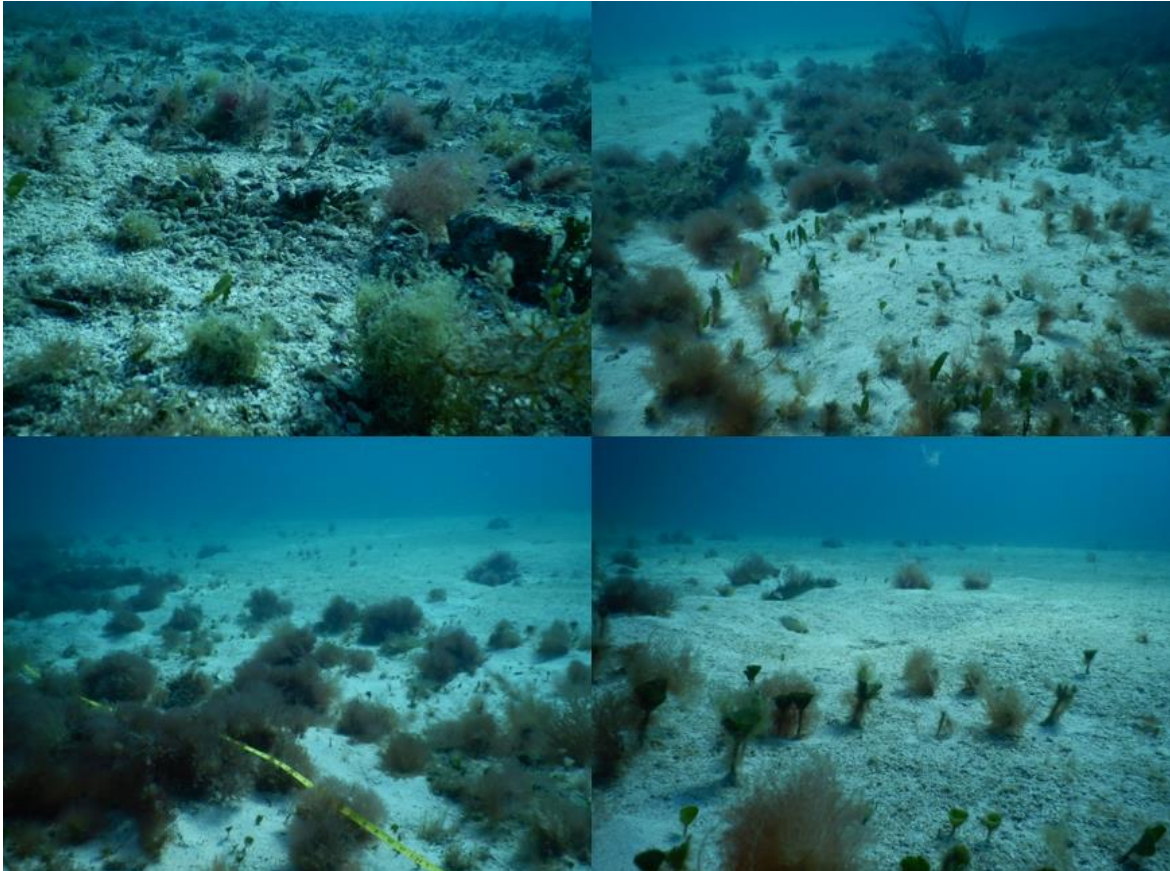
En este ambiente, el sustrato de laja está cubierto por una capa de sedimento que no tiene más de 5 cm de grosor, con presencia moderada de vegetación marina (algas y pasto marino) y gorgonáceos poco densos. La composición de la vegetación que se encuentra en estos sitios es muy variada, y va desde



prácticamente nula, hasta parches monoespecíficos, de algas verdes o rojas. Los corales son muy escasos, siendo únicamente colonias muy pequeñas de *Siderastrea siderea*. La profundidad en estos sitios varía de 0-3 metros. Se muestran imágenes de los muestreos de la época de lluvias y secas para este tipo de ambiente.



**Figura 92.** Laja con sedimentos (L/s) presente en el Sistema Ambiental Regional del proyecto durante la época de lluvias. Se observa el sustrato con sedimento y presencia de algas con diferentes densidades.



**Figura 93.** Tipo de ambiente denominado Laja con sedimentos (L/s) dentro del Sistema Ambiental Regional del proyecto durante la época de secas. Se observa la presencia de sustrato con diferente composición de sedimentos y cobertura de algas.

#### IV.2.2.4.2.5 Laja con sedimentos y algas (L/s+a)

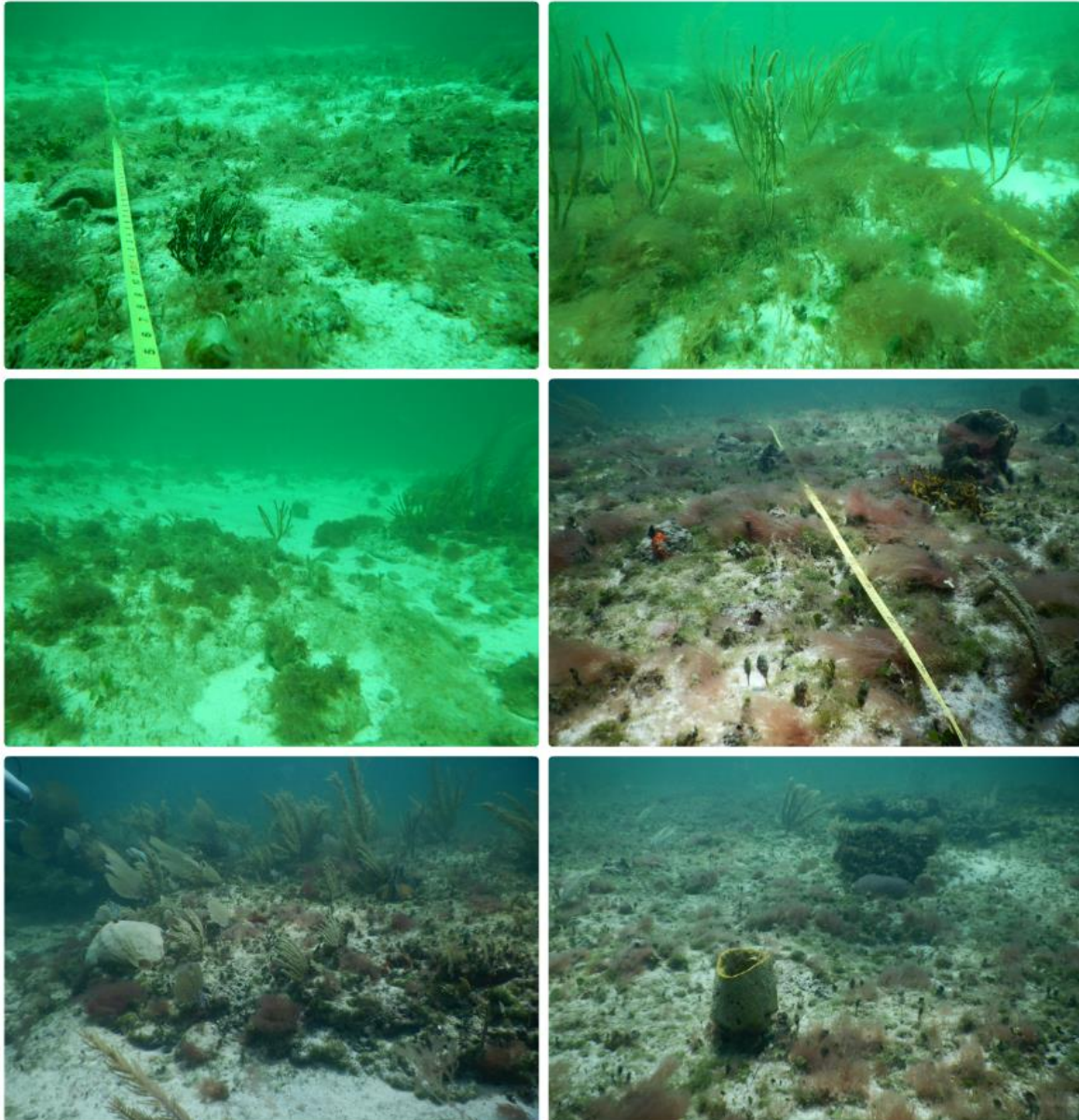
El tipo de ambiente denominado **Laja con sedimento y algas (L/s+a)** se distribuye en un área extensa a la salida de la marina El Cid, formando una franja en la parte somera hacia el norte del polígono del Sistema Ambiental Regional, y que se extiende nuevamente en el área que rodea al Muelle Fiscal de Puerto Morelos, en una profundidad que va de 5 a 8 m. En total este ambiente **abarca 37.93 ha, lo que representa un 14.19% del Sistema Ambiental Regional.**

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

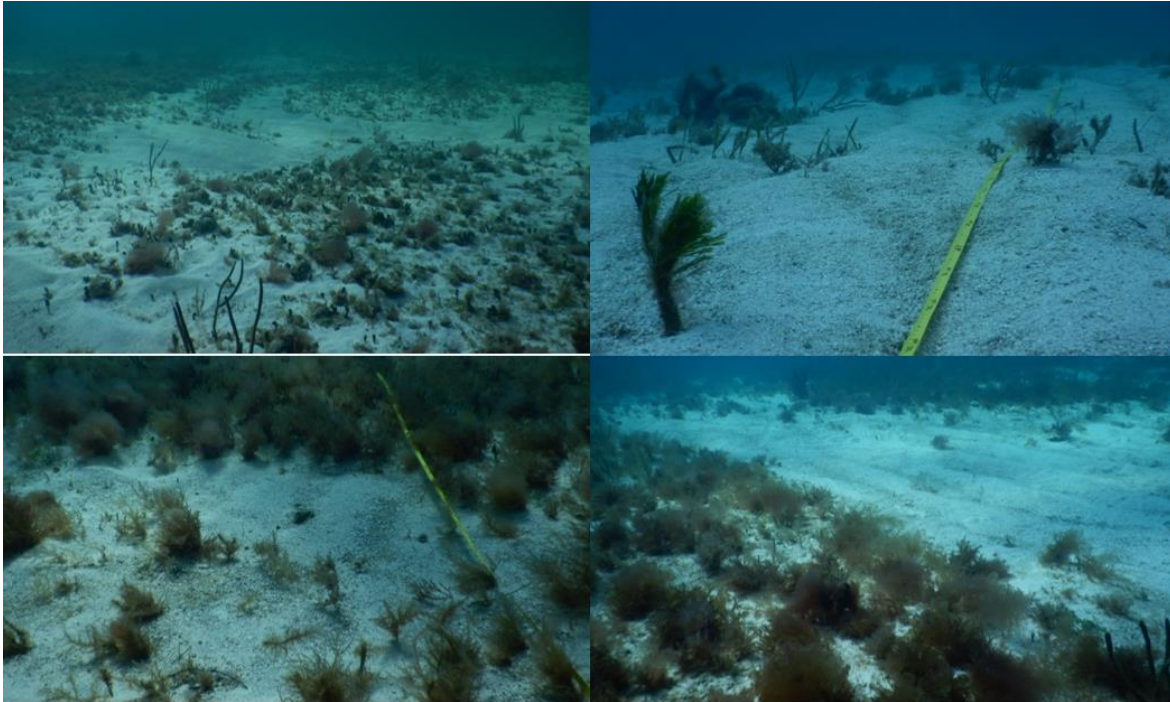
---

En este ambiente, el sustrato de laja está cubierto de una capa gruesa de sedimentos, generalmente de arena media, y presencia importante de macroalgas; algunos sitios con presencia importante de pasto marino en forma de parches. Los gorgonáceos son escasos, se presentan únicamente en parches pequeños. Los corales también son escasos, encontrando ejemplares de especies poco comunes como son *Manicina aerolata*, y *Solenastrea* sp. En este tipo de ambiente se encontró presencia importante del caracol rosado *Lobatus gigas*, e incluso se detectó actividad reproductiva. La profundidad en estos sitios varía de 0-3 metros. Se muestran imágenes de los muestreos de la época de lluvias y secas para este tipo de ambiente.





**Figura 94.** Laja con sedimentos y algas (L/s+a) en el Sistema Ambiental Regional del proyecto durante la época de lluvias. Se observa los parches de sedimento entre los parches de algas de diferente composición de especies.



**Figura 95.** Tipo de ambiente denominado Laja con sedimentos y algas (L/s+a) en el Sistema Ambiental Regional para el proyecto durante la época de secas. Se observan los parches de sedimento con manchones de algas.

#### IV.2.2.4.2.6 Pastizal mixto (Pmix)

El ambiente denominado **Pastizal mixto (Pmix)** abarca un área muy extensa en el norte del polígono del Sistema Ambiental Regional, se extiende hacia un área somera en la parte más norte, pero la mayor parte de este ambiente se extiende en la parte media y profunda, a una profundidad que va de 3.3 a 8 m. Este ambiente **abarca 42.67 ha, lo que representa un 15.96% del polígono del Sistema Ambiental Regional.**

Este ambiente se caracteriza por las praderas de pasto marino sobre un sustrato de arena, generalmente arena media y arena fina, aunque en algunos sitios se presenta arena gruesa con limo. Se registró la presencia de las dos especies más comunes de pasto: *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*, siendo más abundante la segunda especie. La densidad del pasto varía, siendo áreas extensas y homogéneas. Las hojas de *T. testudinum* tienen una longitud entre 25 y 30 cm, de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

color verde oscuro, con las puntas rotas cafés y presencia moderada de epífitas. Los corales son muy escasos en este ambiente, y solamente se registraron pequeñas colonias de *Siderastrea siderea*, *Madracis decactis* y de *Manicina areolata*. Los gorgonáceos también son escasos. Se registró la presencia frecuente de estrellas de mar de la especie *Oreaster rubiginosa*. La profundidad en estos sitios varía de 0-3 metros. Se muestran imágenes de los muestreos de la época de lluvias y secas para este tipo de ambiente.





**Figura 96.** Pastizal mixto (Pmix) en el Sistema Ambiental Regional del proyecto durante la época de lluvias. Se observan diferentes grados de densidad de pastos marinos, y la presencia de la estrella de mar de la especie *Oreaster rubiginosa*.



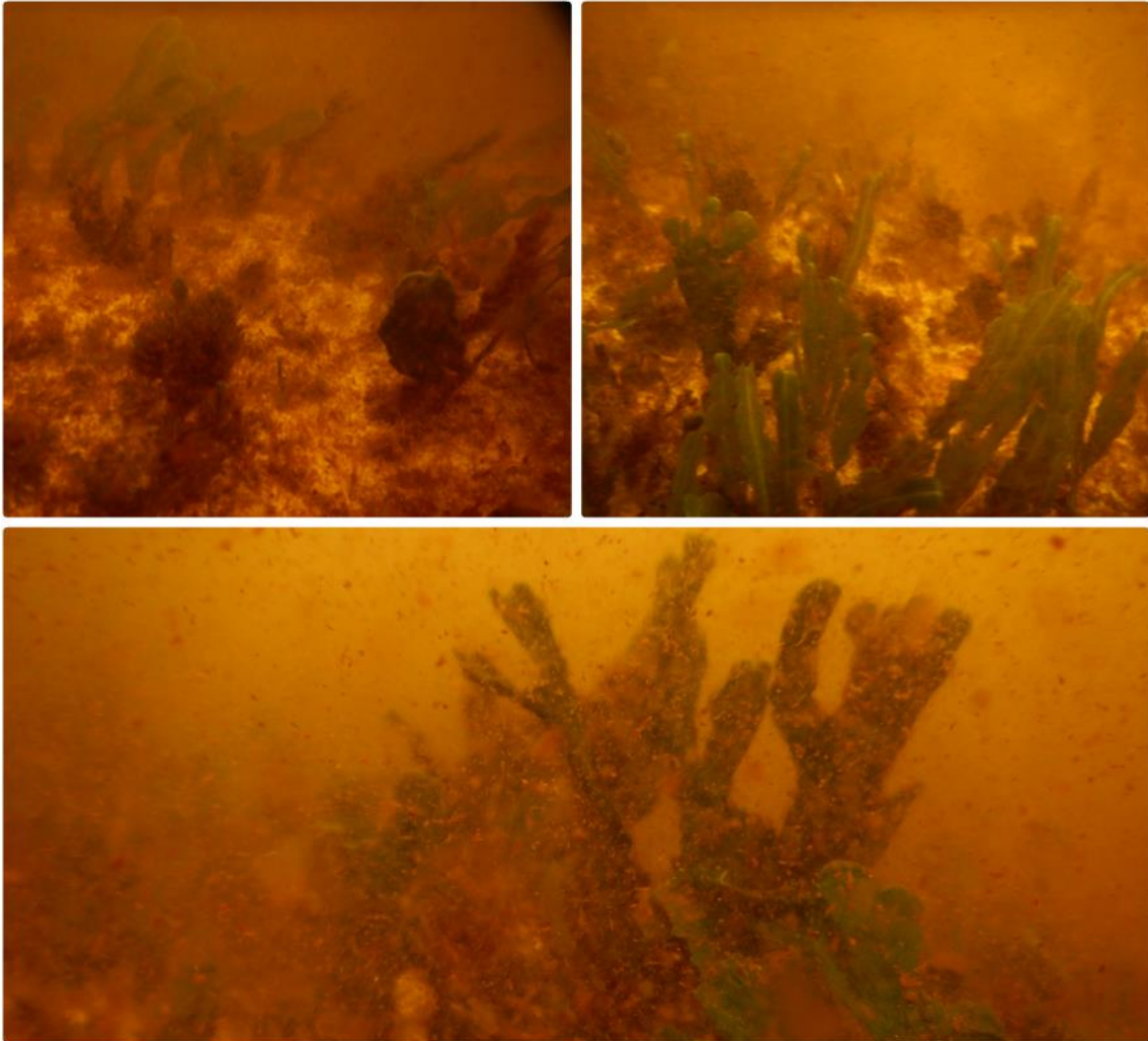


**Figura 97.** Tipo de ambiente denominado Pastizal mixto (Pmix) dentro del SA para el proyecto durante la época de secas. Se observan diferentes grados de densidad de pastos marinos, y la presencia de la estrella de mar de la especie *Oreaster rubiginosa*.

#### IV.2.2.4.2.7 Rocas con algas (R/a)

Finalmente, el ambiente denominado **Rocas con algas (R/a)** es un área muy restringida en la parte norte del polígono, representa un ambiente muy somero y contiguo a la línea de costa, a 1 metro de profundidad. Este ambiente **abarca 1.66 ha, y representa el 0.62% del polígono del Sistema Ambiental Regional.**

Este ambiente es un sustrato rocoso, con crecimiento de algas verdes, principalmente de las especies *Caulerpa mexicana*, *Caulerpa prolifera* y *Halimeda incrasata*. Algunas partes son de laja con algas, y la presencia de rocas. Durante el muestreo el sitio estuvo muy turbio, con visibilidad prácticamente nula, debido al efecto de la acumulación de Sargazo en la línea de costa. La profundidad en estos sitios varía de 0-3 metros. Este ambiente no se realizó muestreo en época de secas.



**Figura 98.** Tipo de ambiente denominado Rocas con algas (R/a) dentro del Sistema Ambiental del proyecto durante la época de lluvias. Se observa el sustrato de roca con crecimiento de algas (color de las fotos, es debido a la presencia de sargazo).

#### **IV.2.2.4.3 Caracterización biológica en el Sistema Ambiental Regional**

A continuación, se presentan el análisis de los parámetros comunitarios de los seis grupos biológicos en el Sistema Ambiental Regional por tipo de ambiente.



#### IV.2.2.4.3.1 Escleractinios (corales duros)

##### IV.2.2.4.3.1.1 Distribución y composición de especies

Considerando las especies observadas fuera de los transectos de muestreo, en total, en la época de lluvias se registraron 14 especies, distribuidas en 10 géneros y siete familias. La especie *Siderastrea radians* fue la que se encontró en el mayor número de ambientes, dominando en L/s+a y siendo abundante en los ambientes L/s y Pmix. En el ambiente L/a fue dominante la especie *Pseudodiploria clivosa*; en L/a+g dominó *Montastraea cavernosa*; en L/s dominó la especie *Siderastrea sideraea*; mientras que en el ambiente Pmix dominaron las especies *Manicina areolata* y *Porites astreoides*. Los ambientes As y R/a no registraron ninguna especie coralina.

**Tabla 25.** Lista de especies y abundancia relativa de corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional durante la época de lluvias. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%). \* Especies observadas en el sitio fuera del transecto de muestreo.

Familia	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Agariciidae	<i>Agaricia</i>	<i>agaricites</i>					*		
Astrocoeniinae	<i>Stephanocoenia</i>	<i>melinii</i>		C			*		
Faviidae	<i>Cladocora</i>	<i>arbuscula</i>						C	
		<i>Pseudodiploria</i>	<i>clivosa</i>		D		*		
			<i>strigosa</i>			*		*	
		<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>		C			D	D
<i>Montastraea</i>	<i>cavernosa</i>		*	D		*			
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>			*			*	
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>		*	*		*	D	
		<i>porites</i>			*		*	*	
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>		E	E	A	D	A	
		<i>sideraea</i>			*	D	D	*	
Hidrocorales									
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>			*				
		<i>complanata</i>			*				
<b>Total</b>				<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	

**Tipos de ambientes:** As = Arenal somero; L/a = Laja con algas; L/a+g = Laja con algas y gorgonáceos; L/s = Laja con sedimentos; L/s+a = Laja con sedimentos y algas; Pmix = Pastizal mixto; R/a = Rocas con algas.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

En la época de secas se identificó un total de 11 especies, distribuidas en nueve géneros y siete familias. Los ambientes As y R/a no obtuvieron presencia de corales. La especie con mayor distribución fue *Siderastrea radians*, estando presente en todos los ambientes, con excepción de los dos mencionados, siendo dominante en casi los todos los ambientes. En el ambiente L/a, se registró una dominancia de *Siderastrea radians* y abundancia de *Manicina aerolata* y se observaron colonias de *Cladocora arbuscula* y *Siderastrea sideraea* fuera del transecto de muestreo. En el ambiente La+g *S. radians* compartió dominancia con *Siderastrea sideraea*. En el ambiente L/s solo se registraron colonias de *S. radians* y se observaron, fuera del transecto de muestreo, colonias de las especies *Manicina areolata* y *Porites astreoides*. En el ambiente L/s+a, *S. radians* compartió dominancia con *Porites porites* y *S. sideraea*. Finalmente, en ambiente Pmix, las especies dominantes fueron *Manicina areolata* y *Porites astreoides*, observándose abundancia de *Cladocora arbuscula* y *Siderastrea sideraea*.

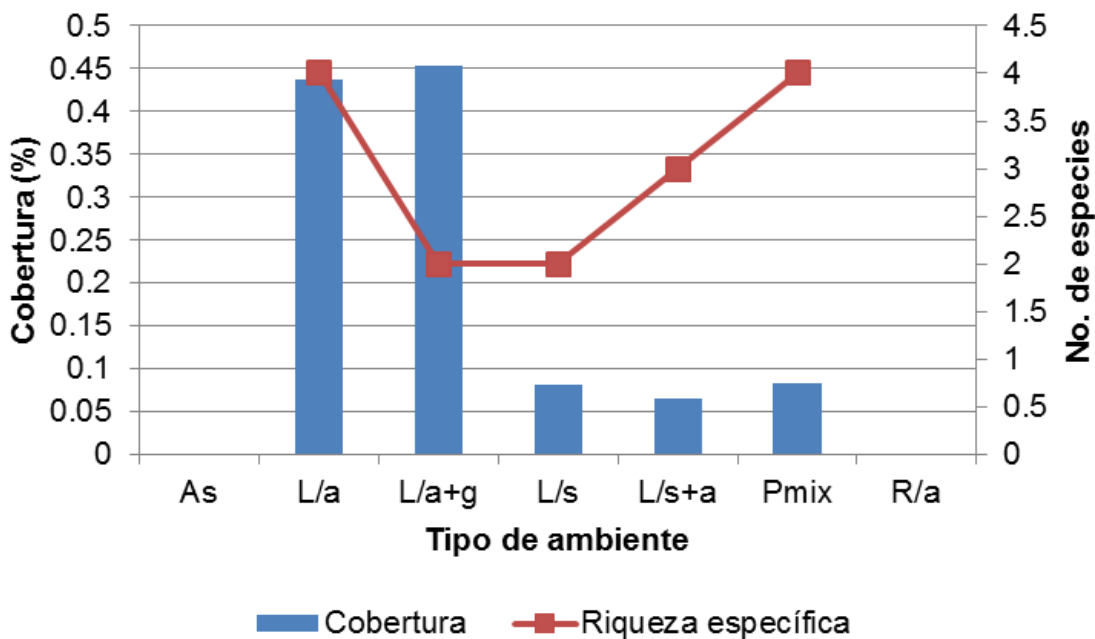
**Tabla 26.** Listado de especies y abundancia relativa de corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional durante la época de secas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).\* Especies observadas en el sitio fuera del transecto de muestreo.

Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Agariciidae	<i>Agaricia</i>	<i>agaricites</i>			A				
Faviidae	<i>Cladocora</i>	<i>arbuscula</i>		*				A	
	<i>Montastraea</i>	<i>cavernosa</i>			*				
	<i>Pseudodiploria</i>	<i>strigosa</i>			*				
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>			C			*	
Mussidae	<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>		A	*	*	C	D	
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>			C	*		D	
		<i>porites</i>		C	*		D	C	
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>		D	D	D	D	E	
		<i>sideraea</i>		*	D		D	A	
HIDROCORLAES									
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>			A				
<b>Total</b>				<b>3</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	

**Tipos de ambientes:** As = Arenal somero; L/a = Laja con algas; L/a+g = Laja con algas y gorgonáceos; L/s = Laja con sedimentos; L/s+a = Laja con sedimentos y algas; Pmix = Pastizal mixto; R/a = Rocas con algas.

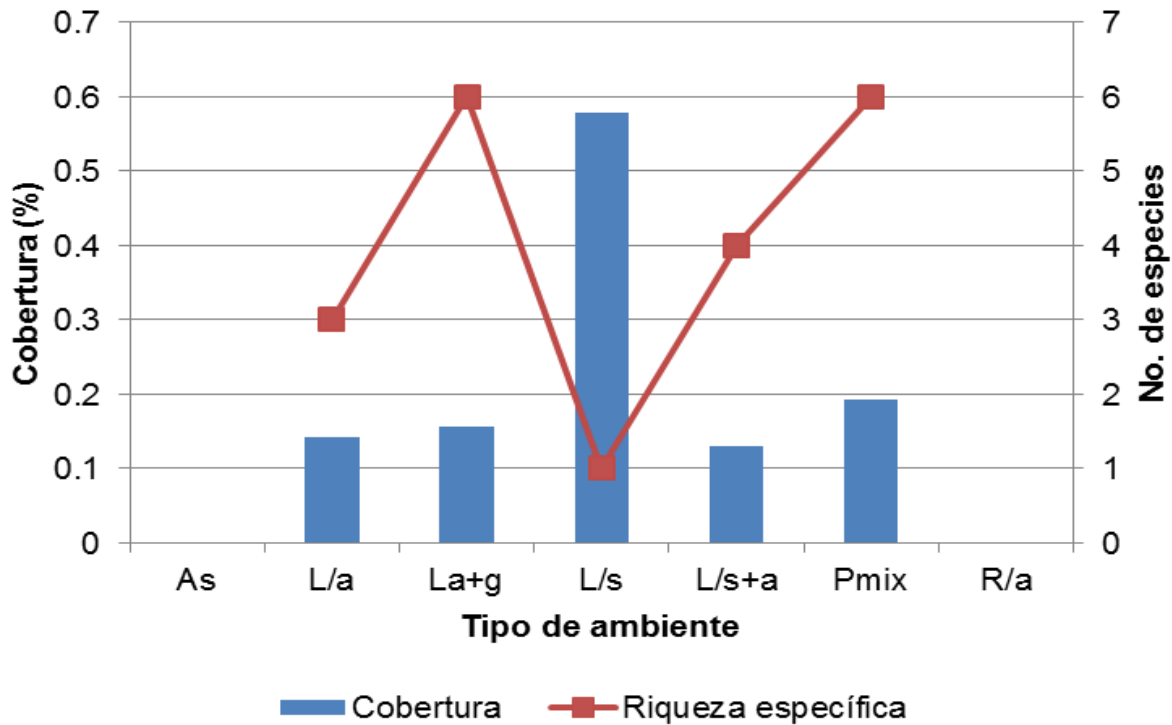
**IV.2.2.4.3.1.2 Abundancia y riqueza específica**

En la época de lluvias, la cobertura coralina registrada en los diferentes ambientes fue muy baja, registrándose el valor más alto en el ambiente L/a+g con 0.45% de cobertura de tejido coralino, con una Riqueza (S) de dos especies; el ambiente L/a presentó una cobertura de 0.44% de tejido con una riqueza de cuatro especies; los ambientes L/s y Pmix obtuvieron una riqueza de dos y cuatro especies respectivamente, con una cobertura del 0.08% para ambos casos; finalmente el ambiente L/s+a obtuvo una cobertura del 0.07% con tres especies registradas dentro del transecto de muestreo.



**Figura 99.** Abundancia y Riqueza específica de corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias.

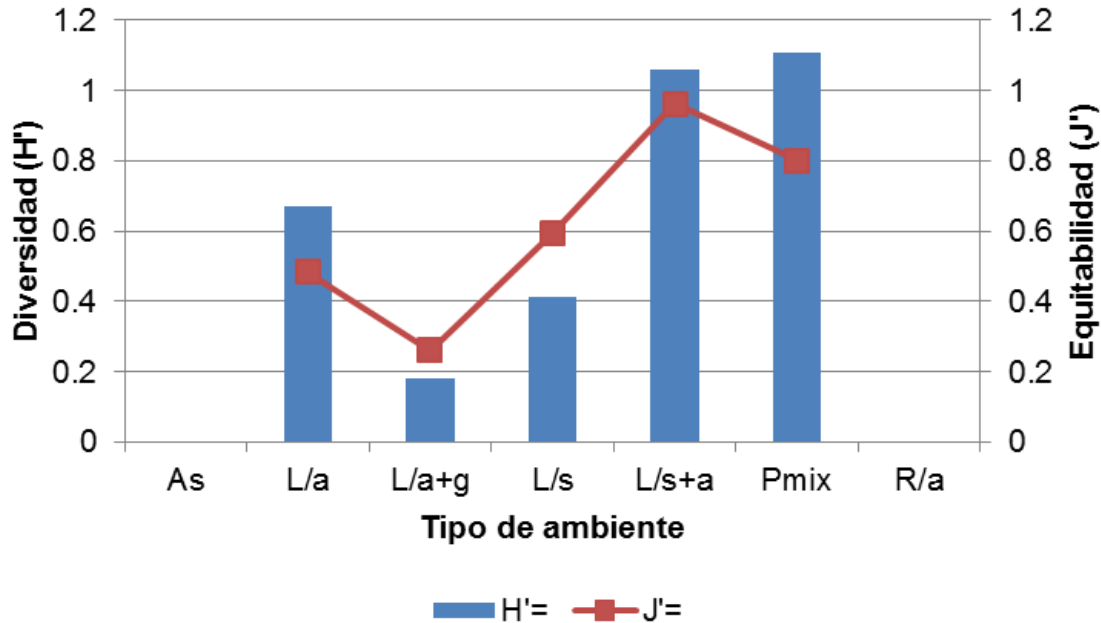
En la época de secas la mayor cobertura de tejido coralino se registró en el ambiente L/s con un 0.58%, sin embargo, este sitio registró la menor riqueza con solo una especie de coral. Los ambientes Pmix y La+g presentaron la mayor riqueza, ambos con seis especies; con una cobertura de tejido del 0.19% y 0.16% respectivamente. El ambiente L/a registró una cobertura del 0.14%, con tres especies presentes; finalmente en el ambiente L/s+a se observó la menor cobertura con 0.13% de tejido coralino, aportado por cuatro especies de coral.



**Figura 100.** Abundancia y Riqueza específica de corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas.

#### IV.2.2.4.3.1.3 Diversidad y equitabilidad

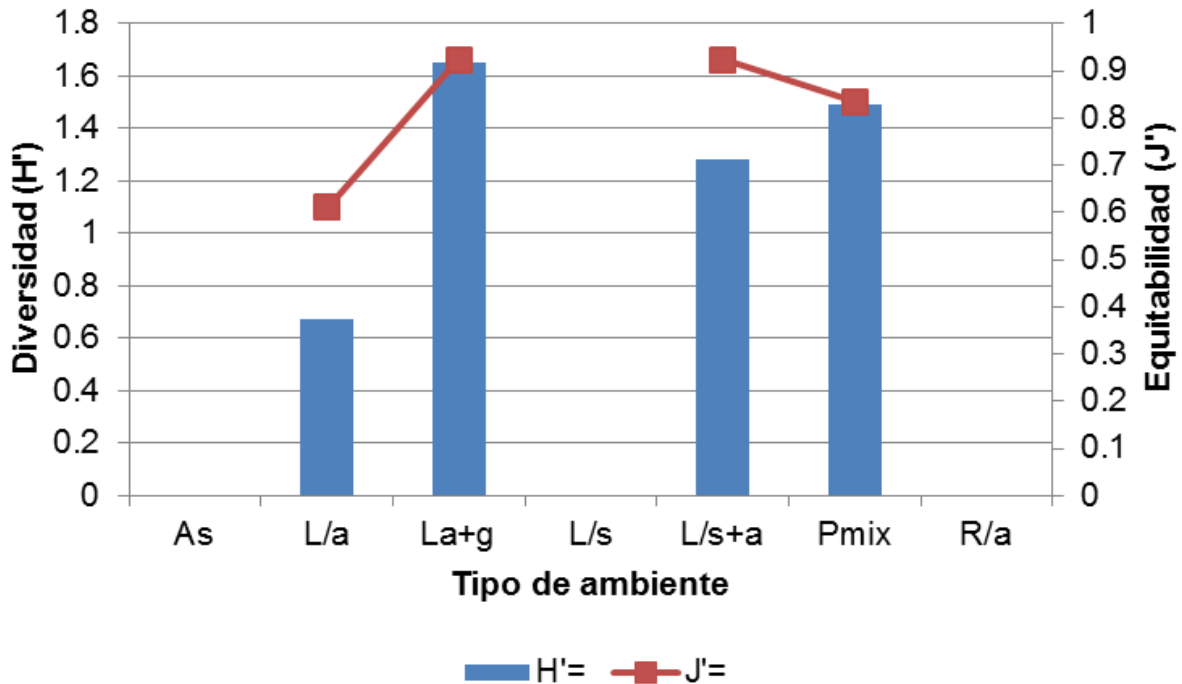
En la época de lluvias, la diversidad más alta se presentó en el ambiente Pmix con un valor de  $H'=1.1085$  y una equitabilidad de  $J'=0.7996$ ; mientras que la mayor equitabilidad se registró en el ambiente L/s+a con un valor de  $J'=0.9629$  y una diversidad  $H'=1.0579$ ; el ambiente L/a registro valores de  $H'=0.6686$  y  $J'=0.4822$  y el ambiente L/S obtuvo valores de  $H'=0.4101$  y  $J'=0.5916$ ; finalmente los valores más bajos para estos índices se observaron en el ambiente L/a+g con una diversidad de  $H'=0.1808$  y una equitabilidad de  $J'=0.2608$ .



**Figura 101.** Diversidad de corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y Equitabilidad ( $J'$ ) en la época de lluvias.

En la época de secas el ambiente L/a+g registró el valor más alto de diversidad con una  $H'=1.6544$  y una equitabilidad de  $J'=0.9233$ . El ambiente con mayor equitabilidad fue L/s+a con  $J'=0.9236$  y una diversidad de  $H'=1.2804$ . El ambiente Pmix presentó una diversidad de  $H'=1.4945$  con una equitabilidad de  $J'=0.8341$ ; mientras que, los valores más bajos de estos índices se observaron en el ambiente L/a con una diversidad de  $H'=0.6711$  y una equitabilidad de  $J'=0.6109$ . El ambiente L/s no presentó suficientes datos para poder determinar estos índices.

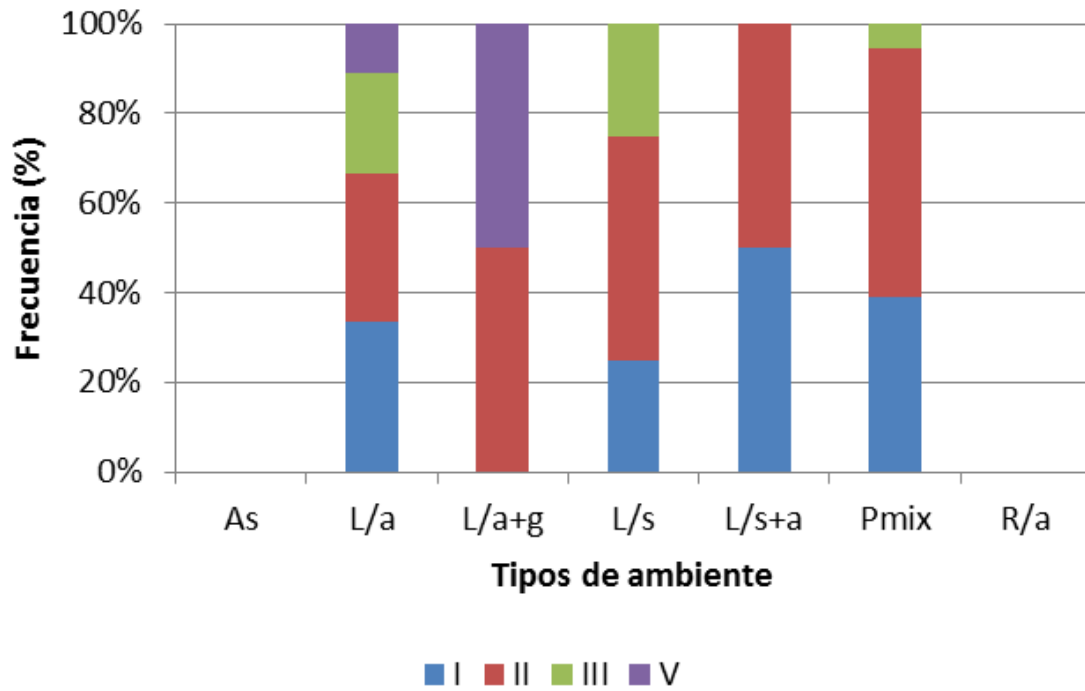




**Figura 102.** Diversidad de corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y Equitabilidad ( $J'$ ) en la época de secas.

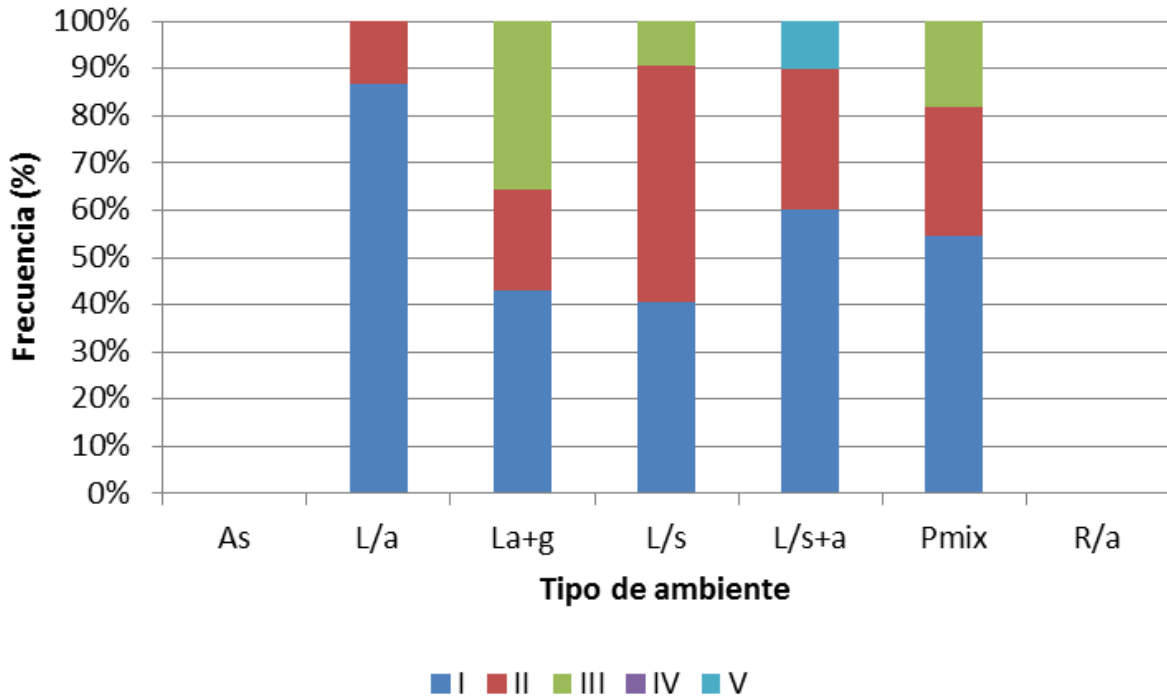
#### IV.2.2.4.3.1.4 Estructura de tallas

En la época de lluvias, se registraron cuatro categorías de tallas, encontrándose el espectro completo en el ambiente L/a donde dominaron las colonias pequeñas de la categoría I y II, ambas con un aporte del 33.3% de frecuencia, las colonias categoría III aportaron el 22.2% y las colonias categoría V registraron el 11.1% de frecuencia. Los ambientes L/s y Pmix obtuvieron el mismo espectro de talla de corales, en ambos ambientes dominaron las colonias categoría II con el 50% y el 55.6% respectivamente. Para el ambiente L/s+a y L/a+g solo presentaron dos categorías de tallas, ambas aportando el 50% de frecuencia para cada ambiente.



**Figura 103.** Estructura de tallas para corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-40 cm, V > 40 cm de diámetro.

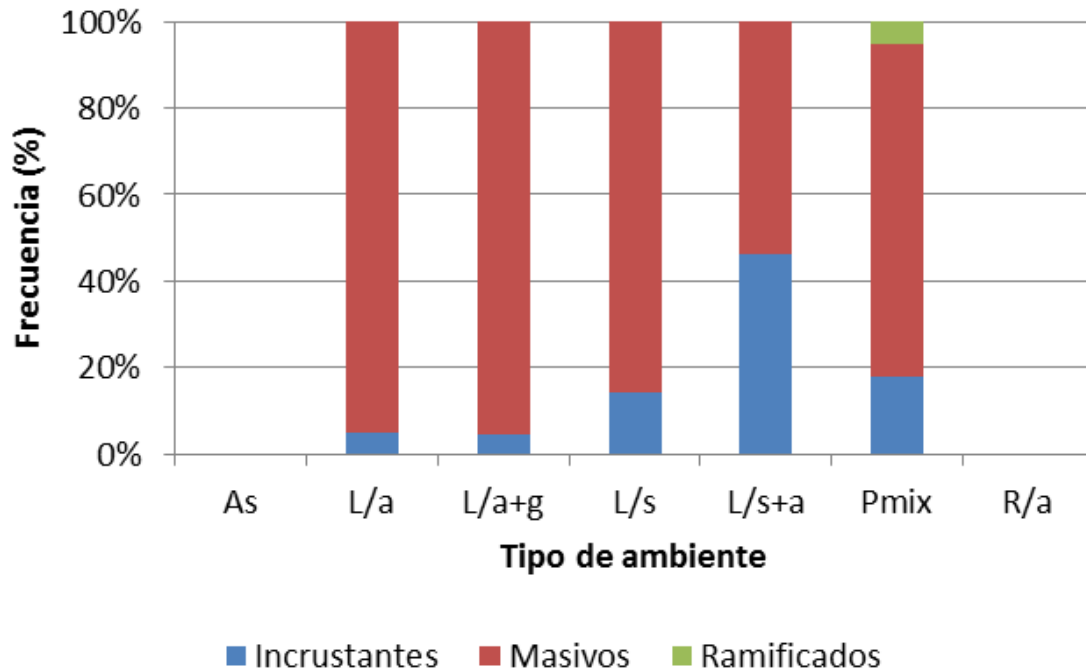
De las cinco categorías de tallas definidas para las colonias coralinas, en la época de secas solo se registraron cuatro. El ambiente L/a presentó categorías I y II, siendo dominante la primera categoría con el 86.7% de frecuencia. Los ambientes L/a+g y Pmix registraron las primeras tres categorías, en ambos casos dominaron las colonias pequeñas categoría I, aportando el 42.9% y el 54.5% de frecuencia respectivamente; mientras que en el ambiente L/s las colonias dominantes fueron la de categoría II, aportando el 50% de frecuencia. El único ambiente que presentó colonias grandes fue L/s+a, sin embargo, las colonias categoría I fueron las dominantes con un aporte del 60% de frecuencia



**Figura 104.** Estructura de tallas para corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas. I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-40 cm, V > 40 cm de diámetro.

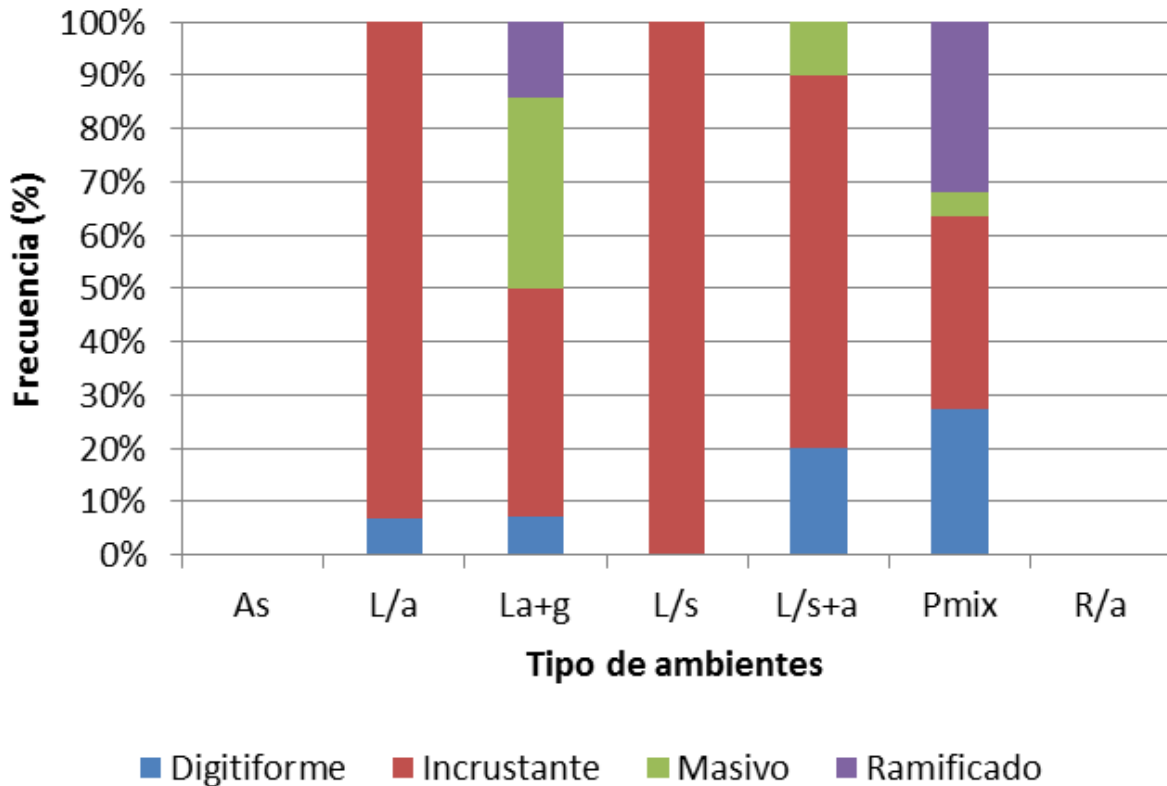
#### IV.2.2.4.3.1.5 Formas de crecimiento

En la época de lluvias, en la zona de muestreo se observaron tres formas de crecimiento coralino, encontrándose el espectro completo solo en el ambiente de Pmix, donde las colonias con crecimiento masivo aportaron 76.9% de la frecuencia de registro, las colonias incrustantes aportaron 18.0% y las colonias ramificadas 5.1%; en los ambientes L/a y L/a+g las colonias masivas aportaron más del 95% de frecuencia y las incrustantes aportaron entre 4.4% a 4.8%; en el ambiente L/s los corales masivos aportaron 85.7% de frecuencia y los incrustantes 14.3%; mientras que en el ambiente L/s+a la frecuencia presento una distribución más equitativa con 53.8% para las colonias masivas y 46.2% para las incrustantes.



**Figura 105.** Formas de crecimiento para corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. Dig = Digitiforme, Inc = Incrustante, Mas = Masiva, Ram = Ramificado.

En la época de secas se observaron cuatro formas de crecimiento de colonias coralinas. Los ambientes La+g y Pmix, registraron el espectro completo, donde las colonias incrustantes fueron las más abundantes, con un 42.9% en La+g y con 36.4% en Pmix. En el ambiente L/s+a se presentaron tres formas de crecimiento, dominando las colonias incrustantes con el 70% de frecuencia. En el ambiente L/a solo se registraron colonias digitiformes e incrustantes, estas últimas aportaron una frecuencia del 93.3%. En el ambiente L/s solo fueron registradas colonias incrustantes



**Figura 106.** Formas de crecimiento para corales escleractinios para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas. Dig = Digitiforme, Inc = Incrustante, Mas = Masiva, Ram = Ramificado.

#### IV.2.2.4.3.1.6 Comparación entre las dos épocas del año

La comunidad de corales es muy pobre en la zona de estudio, encontrando valores muy bajos, tanto de riqueza de especies como de abundancia en ambas épocas de muestreo. No se observa ningún patrón que pudiera alertar sobre algún cambio temporal importante. En cuanto a la dominancia de especies se observa una consistencia con la abundancia de *Siderastrea siderea* y *Siderastrea radians* en la mayoría de los ambientes en ambas épocas del año; siendo especies que se consideran pioneras en el proceso de sucesión ecológica.



**Tabla 27.** Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para corales escleractinios por tipo de ambiente en dos épocas: lluvias (agosto 2018) y secas (enero y febrero del 2019).

AMBIENTE	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (% cob)		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
As	0	0	0.00	0.00	-	-
L/a	4	3	0.44	0.14	Pcliv	Srad
La+g	2	6	0.45	0.16	Mcav	Srad, Ssid
L/s	2	1	0.08	0.58	Ssid	Srad
L/s+a	3	4	0.07	0.13	Srad, Ssid, Maer	Ppor, Srad, Ssid
Pmix	4	6	0.08	0.19	Maer, Past	Maer, Past
R/a	0	0	0.00	0.00	-	-

#### IV.2.2.4.3.2 Gorgonáceos (corales blandos)

##### IV.2.2.4.3.2.1 Distribución y composición de especies

Durante la época de lluvias en el área de estudio se registró un total de 17 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 10 géneros y 3 familias. Se muestrearon un total de 1450 individuos en los 7 ambientes revisados dentro del área de estudio. La especie dominante en varios de los ambientes fue *Pterogorgia anceps*, la cual se encontró distribuida en 4 de los mismos, en donde había disponible sustrato duro para su fijación. En la lista de especies se muestra la importancia de cada una de las ellas, de acuerdo a una categorización basada en rangos de abundancia relativa.

**Tabla 28.** Lista de especies y abundancia relativa de gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a	
Briareidae	<i>Briareum</i>	<i>asbestinum</i>		E						
Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i>	<i>flabellum</i>			R		R			
		<i>mariae</i>		D	E		E	R		
	<i>Pseudopterogorgia</i>	<i>acerosa</i>		C	A	E	D	A		
		<i>americana</i>		E	E		E	E		
	<i>Pterogorgia</i>	<i>anceps</i>			E	D	D	D	D	
		<i>citrina</i>			A	R			R	
<i>guadalupensis</i>				E	C	E	E	C		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a	
Plexauridae	Eunicea	<i>calyculata</i>			R					
		<i>laxispica</i>		R				R		
		<i>mammosa</i>			E		C	E		
	Muricea	<i>muricata</i>			E		E	E		
	Muriceopsis	<i>flavida</i>		E	A	E	E	A		
	Plexaura	<i>flexuosa</i>			R					
	Plexaurella	<i>dichotoma</i>								
		<i>nutans</i>		E	C		R	E		
Pseudoplexaura	<i>porosa</i>		E			R	R			
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

En la época de secas se registró un total de 15 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 9 géneros y 2 familias. Se muestrearon un total de 1400 individuos en los 7 ambientes revisados dentro del área de estudio. Las especies dominantes en varios de los ambientes fueron *Pterogorgia anceps*, *Gorgonia mariae* y *Muriceopsis flavida*, la cual se encontró distribuida en 4 de los mismos, en donde había disponible sustrato duro para su fijación. En el listado de especies se muestra la importancia de cada una de las ellas, de acuerdo a una categorización basada en rangos de abundancia relativa.

**Tabla 29.** Listado de especies y abundancia relativa de gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional del proyecto durante la época de secas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).

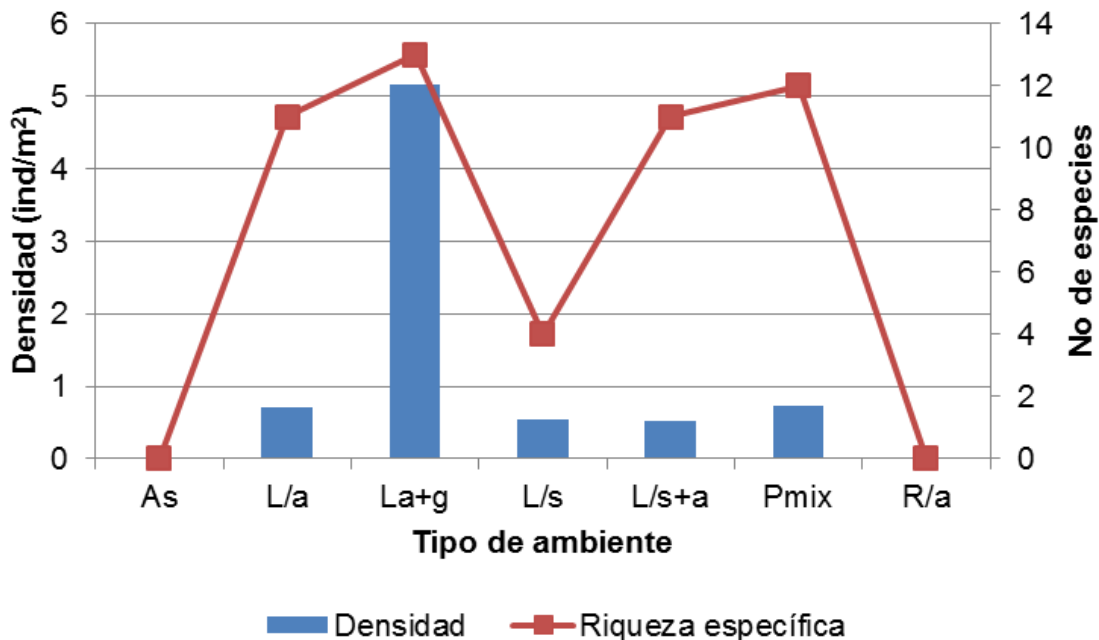
Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Gorgoniidae	Gorgonia	<i>flabellum</i>			E				
		<i>mariae</i>		A	D		C	D	
	Pseudopterogorgia	<i>americana</i>			C		E	C	
	Pterogorgia	<i>anceps</i>		C	A		D	E	
		<i>citrina</i>		D	E			D	
		<i>guadalupensis</i>		A	C		D	E	
Plexauridae	Eunicea	<i>calyculata</i>			E				
		<i>mammosa</i>			A		E	E	
		<i>tourneforti</i>			E		E		
	Muricea	<i>muricata</i>			E				
	Muriceopsis	<i>flavida</i>		C	D		D	C	

Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
	<i>Plexaura</i>	<i>flexuosa</i>			E			E	
	<i>Plexaurella</i>	<i>dichotoma</i>			R				
		<i>nutans</i>		E	E		E	A	
	<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>			E		E		
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0</b>

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

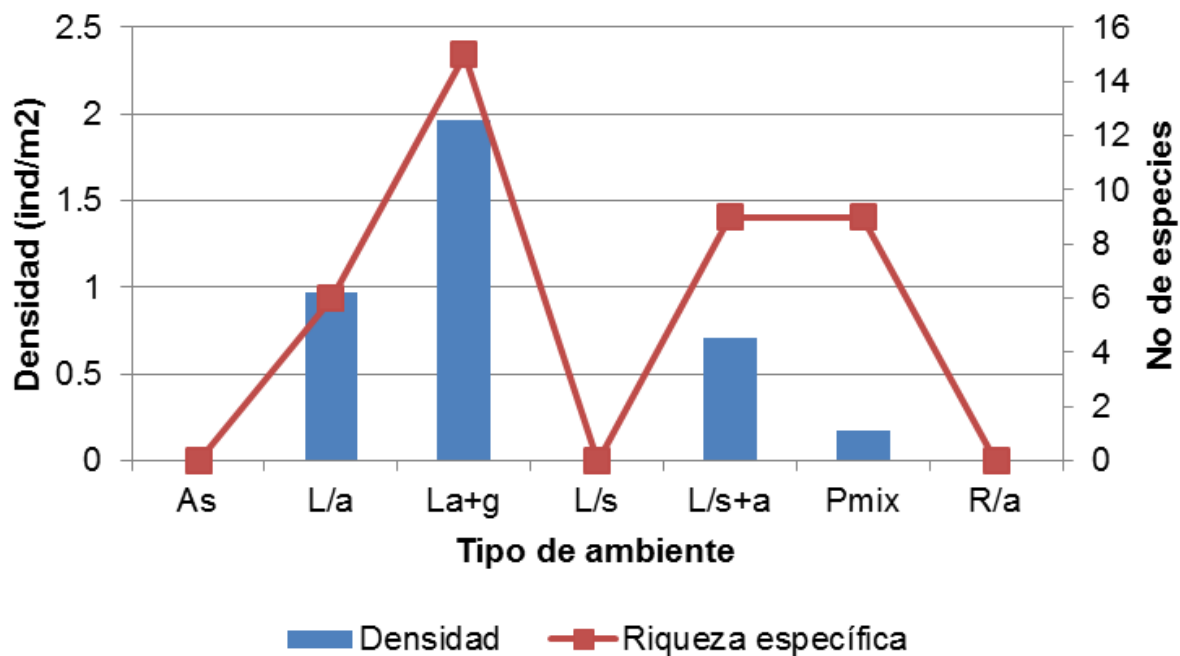
#### IV.2.2.4.3.2.2 Abundancia y riqueza específica

En la época de lluvias, la densidad más alta se encontró en La+g, con 5.1 ind/m<sup>2</sup>, mientras que los valores más bajos se ubicaron en el As y R/a, debido a que no hubo ningún registro. Respecto a la riqueza específica, se observó el mismo patrón que con la diversidad, siendo el sitio La+g el más rico, con 13 especies. Por el contrario, los números más bajos se obtuvieron en As y R/a, al no haber ningún registro.



**Figura 107.** Abundancia y Riqueza específica de gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias.

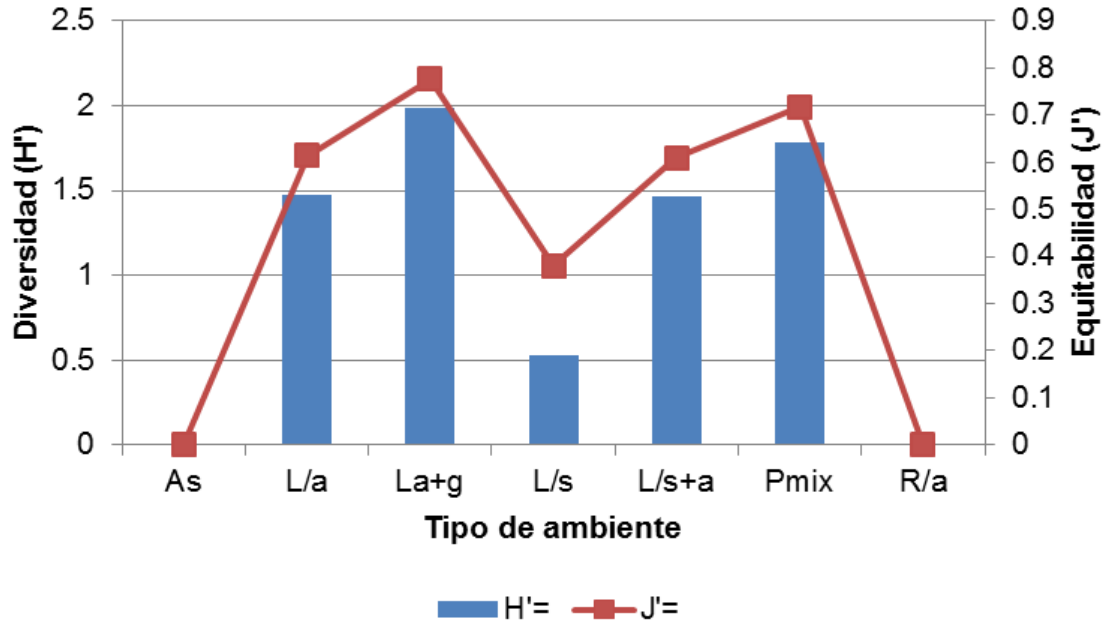
En la época de secas la densidad más alta se encontró en La+g, con 1.96 ind/m<sup>2</sup>, mientras que los valores más bajos se ubicaron en el As, Ls y R/a, debido a que no hubo ningún registro. En relación a la riqueza específica, se observó el mismo patrón que con la diversidad, siendo el sitio La+g el más rico, con 14 especies. Por el contrario, los números más bajos se obtuvieron en As y R/a, al no haber ningún registro.



**Figura 108.** Abundancia y Riqueza específica de gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas.

#### IV.2.2.4.3.2.3 Diversidad y equitabilidad

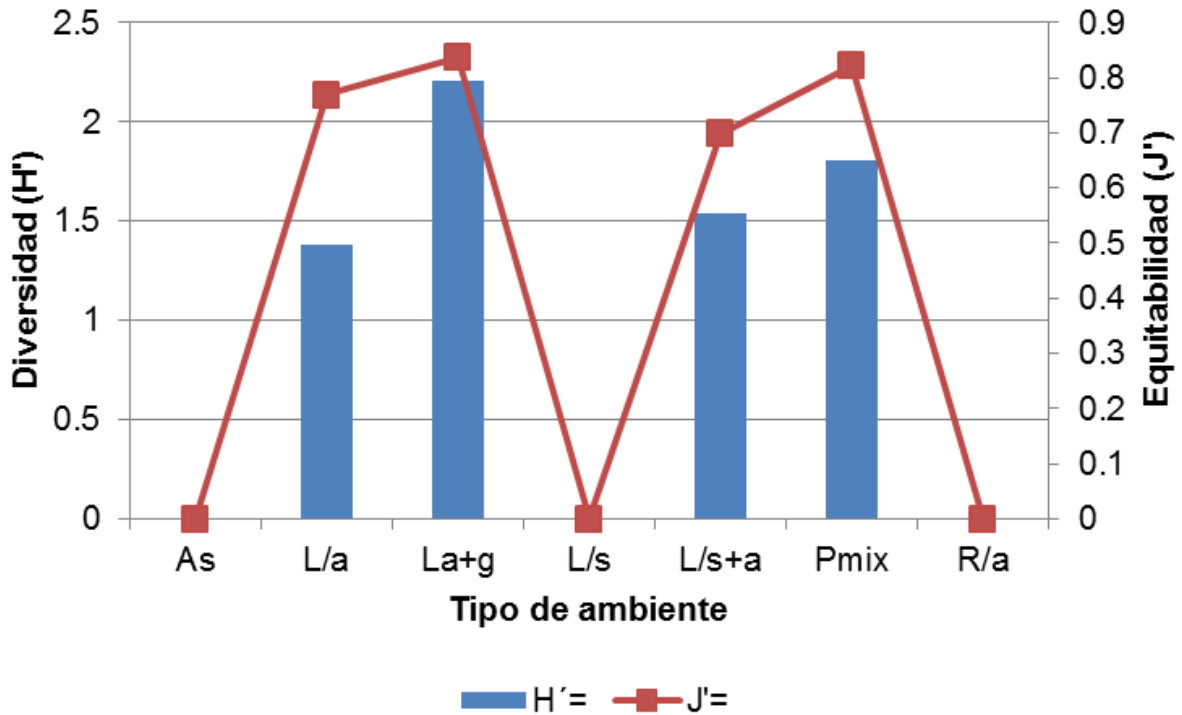
En la época de lluvias, la mayor diversidad se encontró en La+g, con un valor de 1.9. El ambiente con la menor diversidad se encontró en As y R/a, debido a que no hubo registros. En términos de equitabilidad, el valor más alto se encontró también en La+g con 0.7. Como en el caso de la diversidad, la cifra más baja se obtuvo en As y R/a, debido a la ausencia de organismo.



**Figura 109.** Diversidad de gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. Índice de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J').

En la época de secas la mayor diversidad se encontró en La+g, con un valor de 2.21. El ambiente con la menor diversidad se encontró en As, Ls y R/a, debido a que no hubo registros. En términos de equitabilidad, el valor más alto se encontró también en La+g con 0.83. Como en el caso de la diversidad, la cifra más baja de equitabilidad se obtuvo en As, Ls y R/a, debido a la ausencia de organismos.

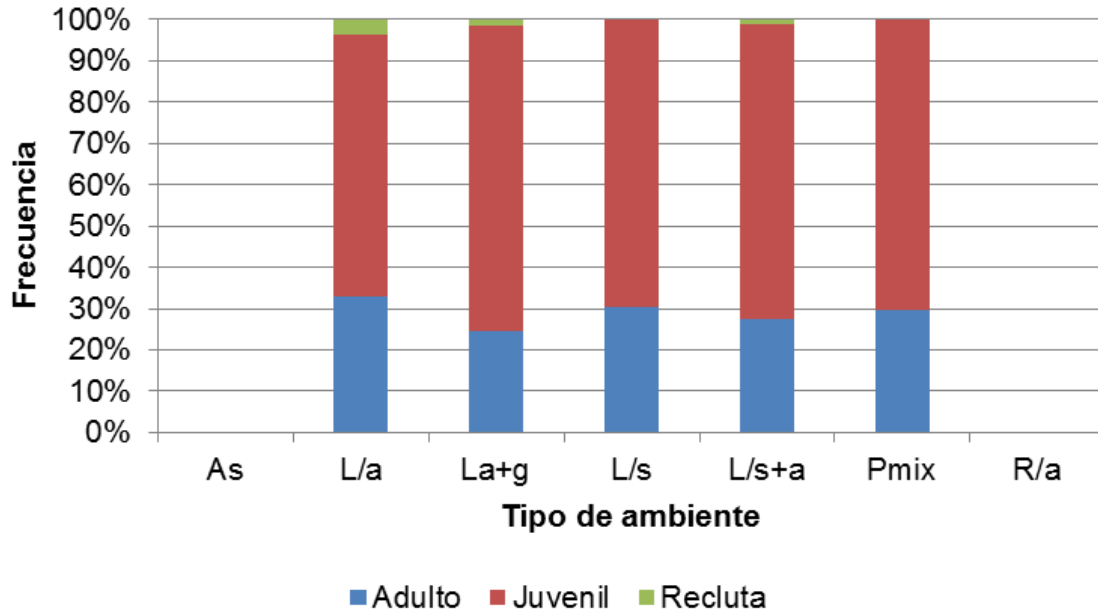




**Figura 110.** Diversidad de gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas. Índice de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J').

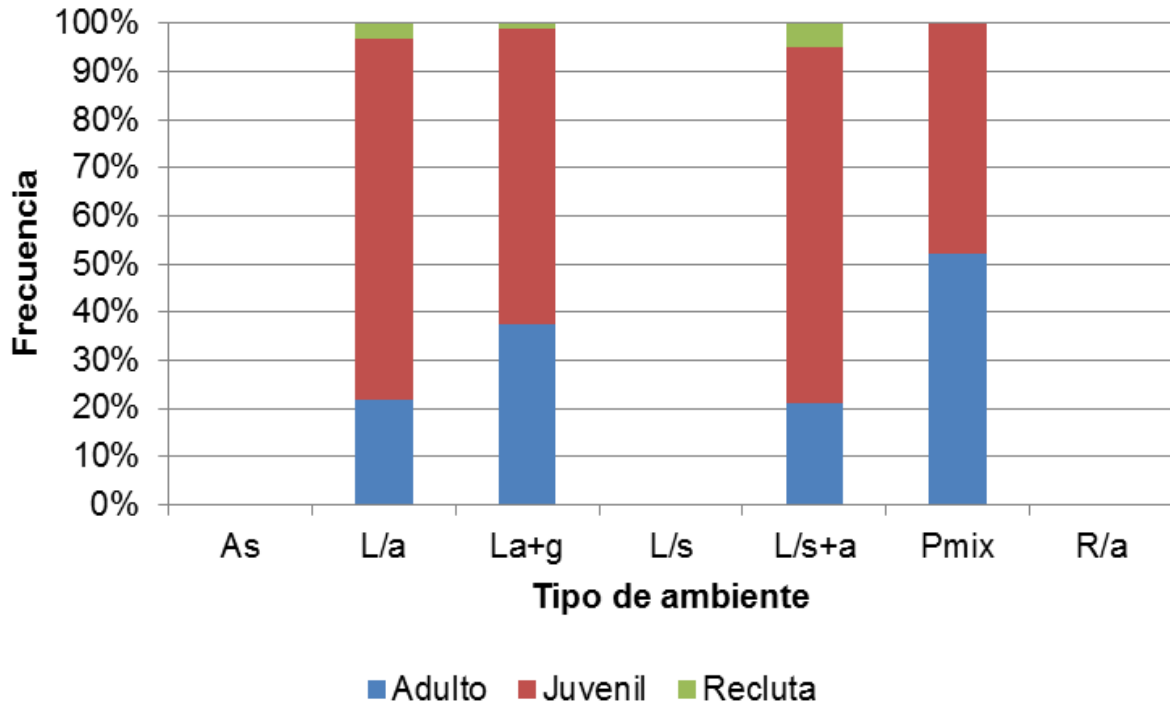
#### IV.2.2.4.3.2.4 Estructura de tallas

En la época de lluvias se registraron gorgonáceos en 5 de los 7 ambientes revisados y las proporciones entre adultos y juveniles fueron similares. La frecuencia de juveniles fue mayor que la de los adultos en todos esos ambientes, con aproximadamente 70%. Solamente se registraron reclutas en 3 de esos ambientes, aunque su frecuencia más alta fue inferior al 4%.



**Figura 111.** Frecuencia de estructura de tallas para gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias.

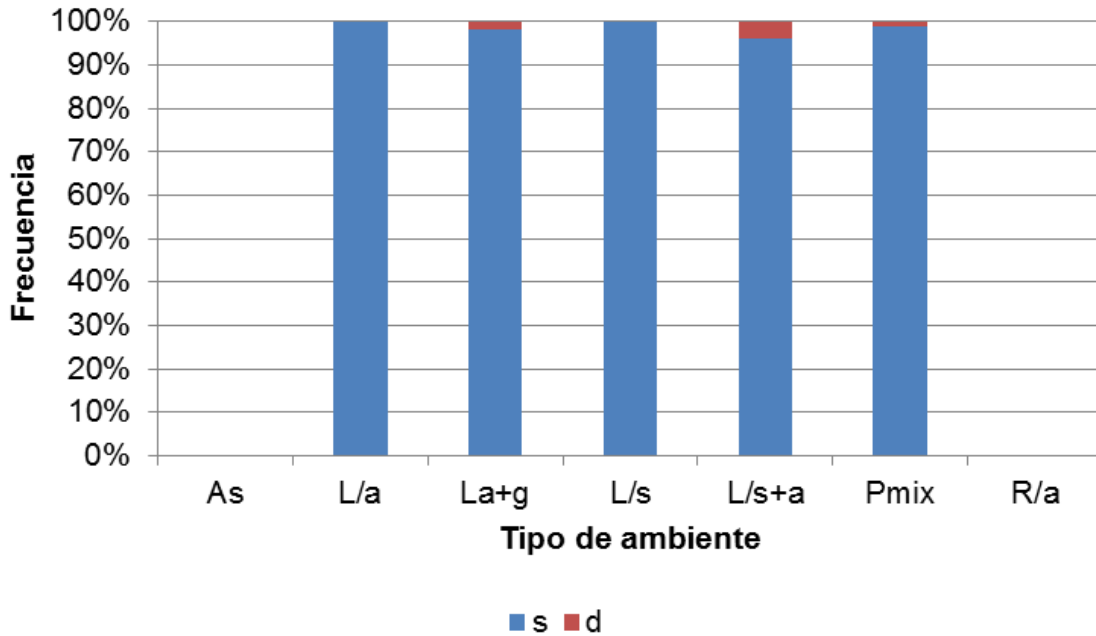
En la época de secas se registraron gorgonáceos en 4 de los 7 ambientes revisados, encontrándose las 3 tallas (adulto, juvenil y recluta) solamente en 3 de dichos ambientes. La frecuencia de juveniles fue mayor que la de los adultos en L/a, La+g y L/s+a. Solamente se registraron reclutas en 3 de esos ambientes, aunque su frecuencia más alta fue inferior al 5%.



**Figura 112.** Frecuencia de estructura de tallas para gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas.

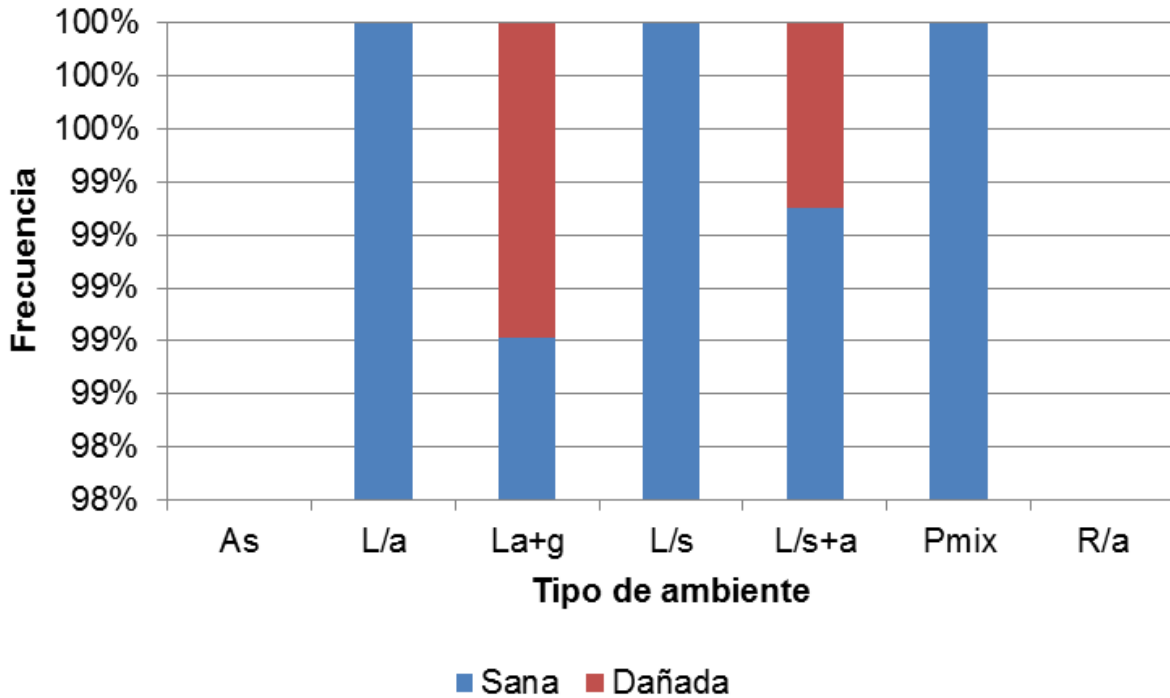
#### IV.2.2.4.3.2.5 Condiciones del organismo

En la época de lluvias se encontraron gorgonáceos en 5 de los 7 ambientes del área de estudio. En 3 de esos ambientes se registraron organismos con daños, aunque en ningún caso la frecuencia de los mismos llegó a alcanzar el 4%. Los daños registrados consistieron principalmente en el sobrecrecimiento de algas.



**Figura 113.** Condición del organismo para gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. s = sana, es decir, colonia sin tejido dañado; d = daño, es decir, presenta algún tipo de afectación.

En la época de secas se encontraron gorgonáceos en 5 de los 7 ambientes del área de estudio. En 2 de esos ambientes se registraron organismos con daños, aunque en ningún caso la frecuencia de los mismos llegó a alcanzar el 2%. Los daños registrados consistieron principalmente en el sobrecrecimiento de algas.



**Figura 114.** Condición del organismo para gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en la época de Lluvias. s = sana, es decir, colonia sin tejido dañado; d = daño, es decir, presenta algún tipo de afectación.

#### IV.2.2.4.3.2.6 Comparación entre las dos épocas del año

La comunidad de gorgonáceos es más abundante en el ambiente denominado Laja con algas y gorgonáceos, siendo donde se encuentra la mayor riqueza específica y abundancia, notando una disminución de la abundancia en el muestreo de secas. En general se registraron mayor número de gorgonáceos en la época de lluvias, teniendo también un mayor número de especies. En cuanto a las especies dominantes por tipo de ambiente, tenemos que en el muestreo de la época de lluvias presenta mayor dominancia la especie *Pterogorgia anceps*, mientras que en el muestreo de secas hay mayor variedad de especies abundantes.

**Tabla 30.** Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para gorgonáceos por tipo de ambiente en dos épocas: Lluvias (agosto 2018) y secas (enero y febrero del 2019).

AMBIENTE	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (org/m <sup>2</sup> )		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
As	0	0	0.00	0.00	-	-
L/a	11	6	0.70	0.97	Gmar, Pcit	Pcit
La+g	13	14	5.15	1.96	Panc	Gmar, Mfla
L/s	4	0	0.54	0.00	Panc	-
L/s+a	11	9	0.53	0.71	Pace, Panc	Panc, Pgua, Mfla
Pmix	12	9	0.74	0.18	Panc	Gmar, Pcit
R/a	0	0	0.00	0.00	-	-

#### IV.2.2.4.3.3 Ictiofauna (peces arrecifales)

##### IV.2.2.4.3.3.1 Distribución y composición de especies

En la época de lluvias, se registró un total de 41 especies, 25 géneros y 17 familias de peces. Los ambientes As y R/a no registraron ningún individuo. La especie *Halichoeres bivittatus* dominó en todos los ambientes donde estuvo presente; mientras que la especie *Haemulon flavolineatum* también presentó una gran dominancia en la mayoría de los ambientes, con excepción de L/a+g donde solo fue común. En el ambiente L/a, la especie *Haemulon sciurus* fue abundante y el resto de las especies registradas presentaron pocos individuos, por lo que fueron escasas de acuerdo a la abundancia relativa. En el ambiente L/a+g, la especie dominante, aparte de *H. bivittatus*, fue *Thalassoma bifasciatum*; *Stegastes partitus* y los peces cirujanos *Acanthurus coeruleus* fueron comunes. En el ambiente L/s se registraron cuatro especies comunes *Gerres cinereus*, *Ctenogobius saepepallens*, *Saprisoma radians* y *Sparisoma viride*, siendo estas dos últimas especies pertenecientes a la familia de los peces loro. En L/s+a los cirujanos *Acanthurus chirurgus* fueron comunes y los peces *Thalassoma bifasciatum* fueron abundantes. Finalmente, en el ambiente Pmix las especies *Caranx ruber* y *Sparisoma radians* fueron comunes de acuerdo a su abundancia relativa registrada.



**Tabla 31.** Lista de especies y abundancia relativa de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

Familia	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Acanthuridae	Acanthurus	<i>chirurgus</i>			E		C		
		<i>coeruleus</i>		E	C		E	R	
Carangidae	Caranx	<i>crysos</i>				E	E		
		<i>ruber</i>		E				C	
Chaetodontidae	Chaetodon	<i>capistratus</i>		E	R	E	R	E	
		<i>ocellatus</i>			*				
		<i>striatus</i>			R				
Gerreidae	Gerres	<i>cinereus</i>				C			
Gobiidae	Ctenogobius	<i>saepepallens</i>			R	C			
Haemulidae	Anisotremus	<i>surinamensis</i>						R	
	Haemulon	<i>carbonarium</i>			E				
		<i>flavolineatum</i>		D	C	D	D	D	
		<i>macrostomum</i>			E		R		
		<i>sciurus</i>		A					
Labridae	Halichoeres	<i>bivittatus</i>		D	D	D	D	D	
		<i>garnoti</i>					E		
		<i>poeyi</i>		E	R		R	E	
	Lachnolaimus	<i>maximus</i>			R				
	Thalassoma	<i>bifasciatum</i>			D		A	E	
Lutjanidae	Lutjanus	<i>analís</i>			*		*	*	
	Ocyurus	<i>chrysurus</i>						E	
Mullidae	Pseudopeneus	<i>maculatus</i>						E	
Ostraciidae	Lactophrys	<i>trigonos</i>			R				
Pomacanthidae	Holocanthus	<i>ciliaris</i>		*			R		
		<i>tricolor</i>			*				
	Pomacanthus	<i>paru</i>		E	*				
Pomacentridae	Stegastes	<i>diencaeus</i>		E	*				
		<i>leucosticus</i>		E			E		
		<i>partitus</i>			C	E	E		
		<i>variabilis</i>					R	R	
Scaridae	Nicholsina	<i>usta</i>					R	E	
	Sparisoma	<i>aurofrenatum</i>		E					E
		<i>chrysopterygum</i>			R				
		<i>radians</i>		E		C	E	C	
		<i>viride</i>			E	C	C	E	
Scianidae	Pareques	<i>acuminatus</i>		E				E	
Scorpaenidae	Pterois	<i>volitans</i>				*			
	Scorpaena	<i>plumieri</i>		E					

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Familia	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>		E	E		*	E	
	<i>Diodon</i>	<i>hystrix</i>			*				
Urobatidae	<i>Urobatis</i>	<i>jamaicensis</i>						E	
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>0</b>

**Tipos de ambientes:** As = Arenal somero; L/a = Laja con algas; L/a+g = Laja con algas y gorgonáceos; L/s = Laja con sedimentos; L/s+a = Laja con sedimentos y algas; Pmix = Pastizal mixto; R/a = Rocas con algas.

En la época de secas se registraron un total de 44 especies, distribuidas en 29 géneros y 19 familias. En los ambientes As y R/a no se observaron peces. La especie con mayor distribución fue *Halicoeres bivittatus*, estando presente y siendo dominante en todos los sitios. En el ambiente L/a la especie *Abudefduf saxatilis* fue abundante y las especies *Haemulon flavolineatum* y *Canthigaster rostrata* fueron comunes. En L/a+g la especie *Thalassoma bifasciatum* compartió dominancia con la especie *H. bivittatus*, mientras que la especie *H. flavolineatum* fue abundante. Para el ambiente L/s, las especies *H. flavolineatum*, *C. rostrata* y *Sparisoma viride* fueron comunes. En el ambiente L/s, las especies *Pareques acuminatus*, *C. rostrata* y *H. flavolineatum* fueron comunes. En Pmix, *Haemulon plumieri* y *Halicoeres poeyi* fueron abundantes; mientras que en el ambiente L/s+a, todas las especies registradas, con excepción de *H. bivittatus*, fueron escasas.

**Tabla 32.** Listado de especies y abundancia relativa de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional para el proyecto durante la época de secas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%). Época de lluvias (izq.) y época de secas (der).

Familia	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Acanthuridae	Acanthurus	<i>chirurgus</i>			R		E		
		<i>coeruleus</i>			E		E		
Carangidae	Caranx	<i>crysos</i>			R				
		<i>ruber</i>		E	E		E	*	
Chaetodontidae	Chaetodon	<i>capistratus</i>			R	E		E	
		<i>striatus</i>			R				
Diodontidae	<i>Diodon</i>	<i>holocantus</i>		E					
Gerreidae	<i>Gerres</i>	<i>cinereus</i>				E			
Gobiidae	<i>Ctenogobius</i>	<i>saepepallens</i>			R	E	E		
	<i>Elacantinus</i>	<i>prochilos</i>		E					
	<i>Gnatholepis</i>	<i>cauerensis</i>			R		E		
Haemulidae	<i>Anisotremus</i>	<i>virginicus</i>			E				

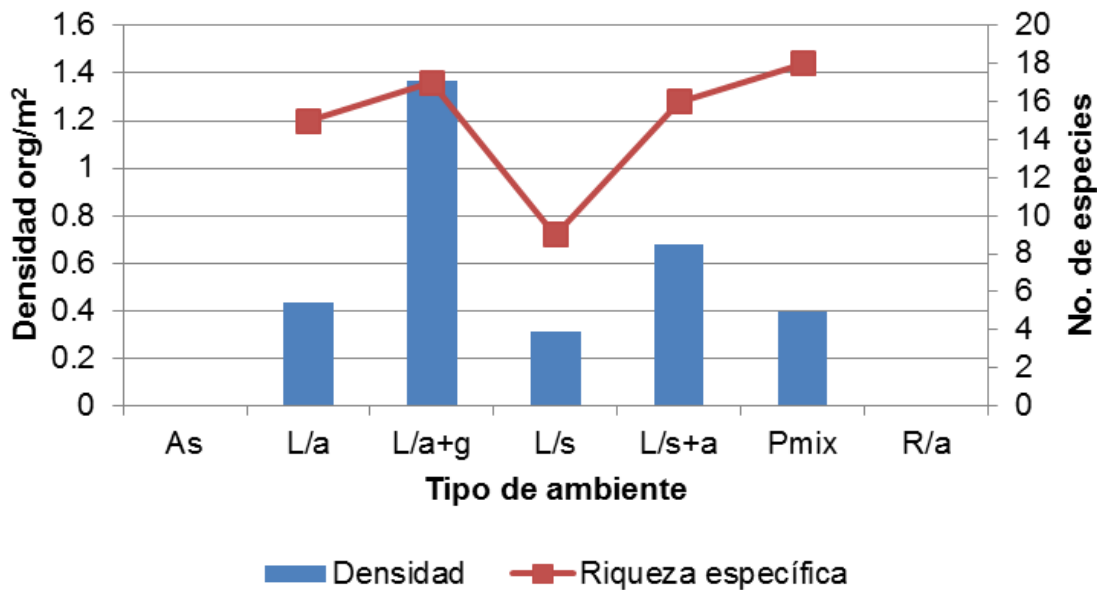
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
	Haemulon	<i>carbonarium</i>		E	C				
		<i>flavolineatum</i>		C	A	C	E	C	
		<i>plumieri</i>		E	C			A	
Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>rufus</i>			R				
	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>		D	D	D	D	D	
		<i>garnoti</i>				R			E
		<i>maculupina</i>							E
		<i>pictus</i>							E
		<i>poeyi</i>		E	R				A
	<i>radiatus</i>		E						
<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>		E	D	E				
	<i>Xyrichtys</i>	<i>martinicensis</i>				E			
Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	<i>analís</i>				E			
	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>		E	E	E			
Malacanthidae	<i>Malacanthus</i>	<i>plumieri</i>				E			
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>		E	E	R	E	E	
Muraenidae	<i>Gymnothorax</i>	<i>miliaris</i>						*	
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus</i>	<i>arcuatus</i>			R	R		E	
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	<i>saxantilis</i>		A	R				
	<i>Microspathodon</i>	<i>chrysurus</i>			R				
	<i>Stegastes</i>	<i>adustus</i>		E		R			
		<i>partitus</i>				E		E	
		<i>variabilis</i>			*				
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>			R	E		C	
	<i>Sparisoma</i>	<i>chrysopterum</i>			E			E	
		<i>radians</i>				R	R		E
		<i>rubripinne</i>				R			
		<i>viride</i>		E	R	C		E	
Scianidae	<i>Pareques</i>	<i>acuminatus</i>		E	R				
Scorpaenidae	<i>Pterois</i>	<i>volitans</i>				*			
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>		C	C	C	E	E	
Urobatidae	<i>Urobatis</i>	<i>jamaicensis</i>		E		R		E	
<b>Total</b>				<b>18</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

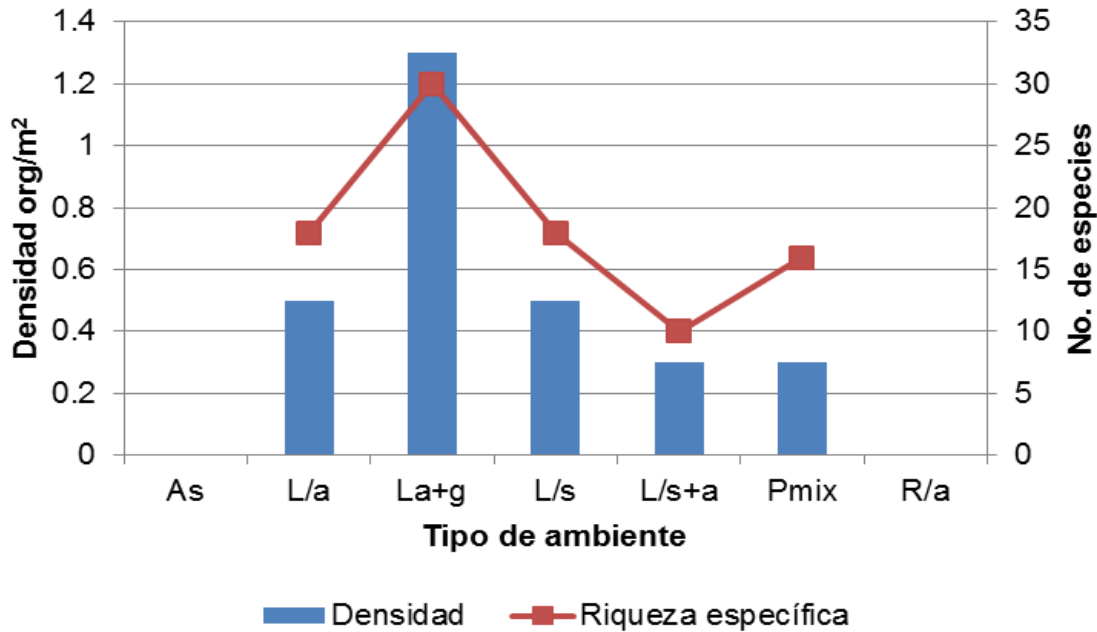
**IV.2.2.4.3.3.2 Abundancia y riqueza específica**

En la época de lluvia, la mayor densidad se registró en el ambiente L/a+g con 1.4 org/m<sup>2</sup> y una riqueza de 17 especies; el resto de los ambientes presentaron menos de 1.0 org/m<sup>2</sup>; donde L/s+a registró 0.7 org /m<sup>2</sup>, con una riqueza de 16 especies; el ambiente L/a y Pmix presentaron 0.4 org/m<sup>2</sup>, con una riqueza de 15 y 18 especies respectivamente, siendo Pmix el ambiente donde se registró el mayor número de especies. Siendo el ambiente L/s donde se observó la menor densidad y riqueza con valores de 0.3 org/m<sup>2</sup> y 9 especies.



**Figura 115.** Abundancia y Riqueza específica de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional durante la época de lluvias.

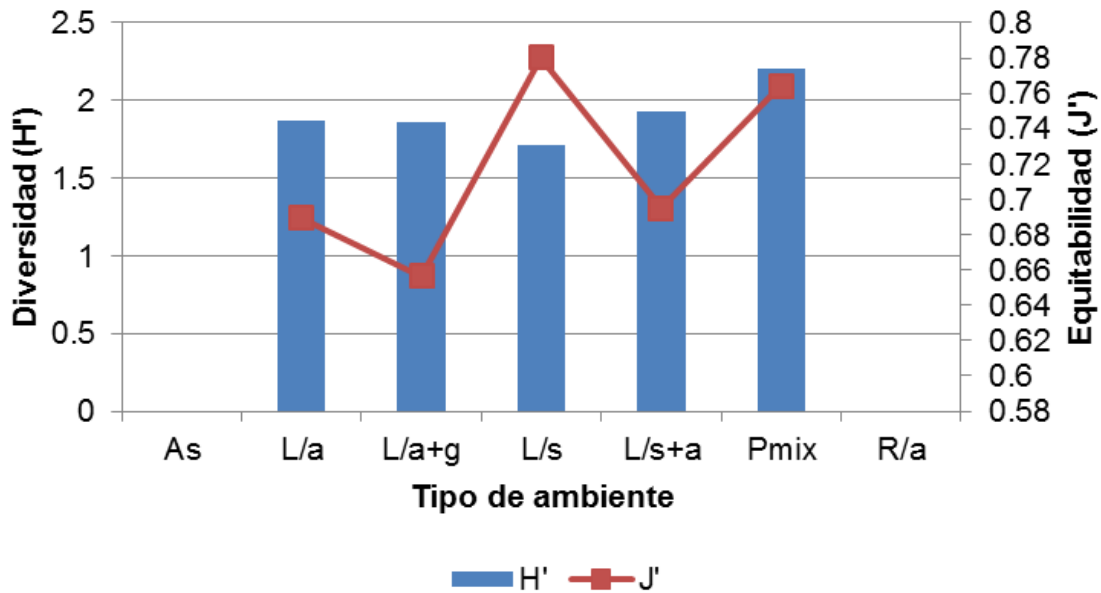
En la época de secas, la mayor densidad de peces y riqueza se registró en el ambiente L/a+g con 1.3 ind/m<sup>2</sup> y 30 especies; seguido por los ambientes L/a y L/s, ambos con una densidad de 0.5 ind/m<sup>2</sup> y una riqueza de 18 especies. Los ambientes L/s+a y Pmix registraron la misma densidad de peces con 0.3 ind/m<sup>2</sup> con una riqueza de 10 y 16 especies respectivamente.



**Figura 116.** Abundancia y Riqueza específica de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional durante la época de secas.

#### IV.2.2.4.3.3 Diversidad y equitabilidad

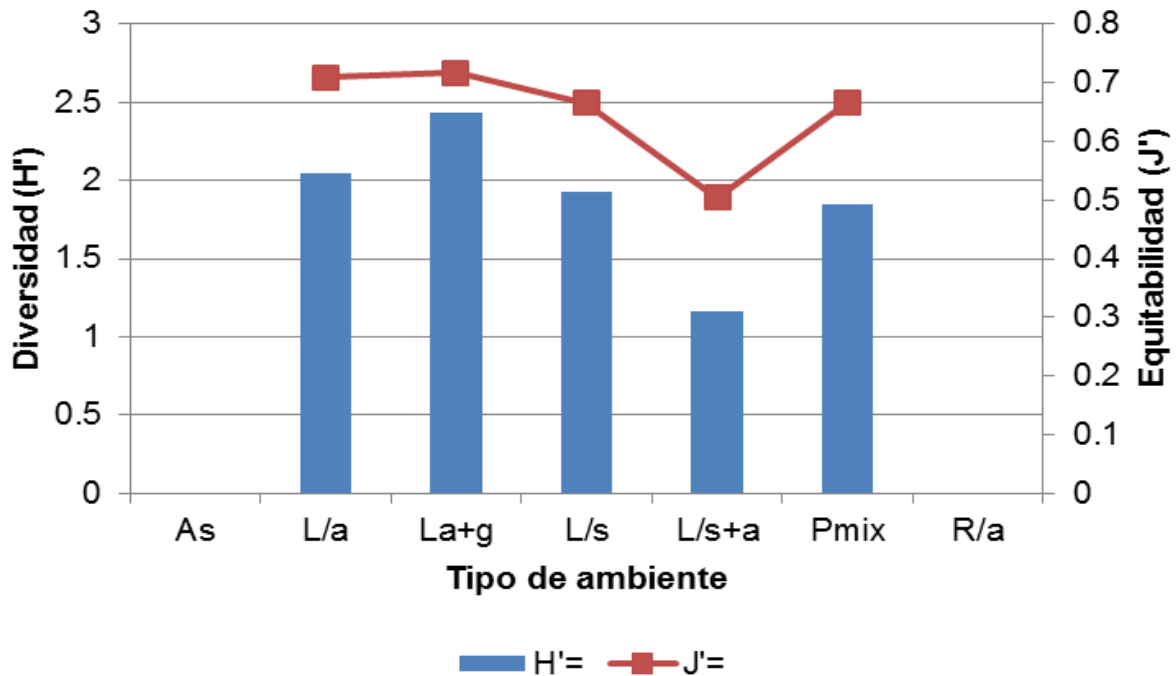
En la época de lluvias, los valores más altos de diversidad se observaron en el ambiente Pmix con  $H' = 2.2088$  y una equitabilidad de  $J' = 0.7642$ ; seguido por el ambiente L/s+a con  $H' = 1.9273$  y una  $J' = 0.6951$ ; los ambientes L/a y L/a+g registraron una diversidad y equitabilidad similar con valores de  $H' = 1.8665$  y  $J' = 0.6892$ , y  $H' = 1.8593$  y  $J' = 0.6563$  respectivamente. El ambiente L/s registró el menor valor de diversidad, sin embargo, fue el que obtuvo el mayor valor de equitabilidad con  $H' = 1.7146$  y  $J' = 0.7803$ .



**Figura 117.** Diversidad de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

En la época de secas, los valores más altos de diversidad y equitabilidad se registraron en el ambiente La+g con  $H'=2.4372$  y una  $J'=0.716$ . El ambiente L/a registró una diversidad de  $H'=2.0497$  y una equitabilidad de  $J'=0.7092$ ; siguiendo en diversidad el ambiente L/s con  $H'=1.9240$  y una equitabilidad de  $J'=0.6657$ . El ambiente Pmix obtuvo valores de  $H'=1.8485$  y una  $J'=0.6667$ ; mientras que el sitio L/s+a presentó los valores más bajos, con una diversidad de  $H'=1.1614$  y una equitabilidad de  $J'=0.5044$ .

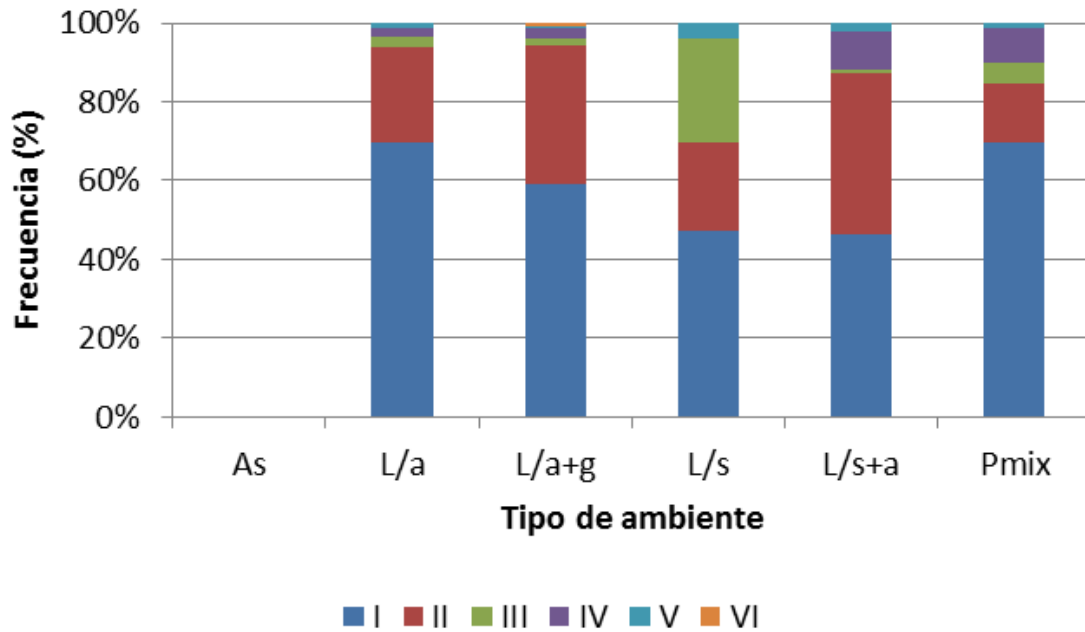




**Figura 118.** Diversidad de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas. Índice de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J').

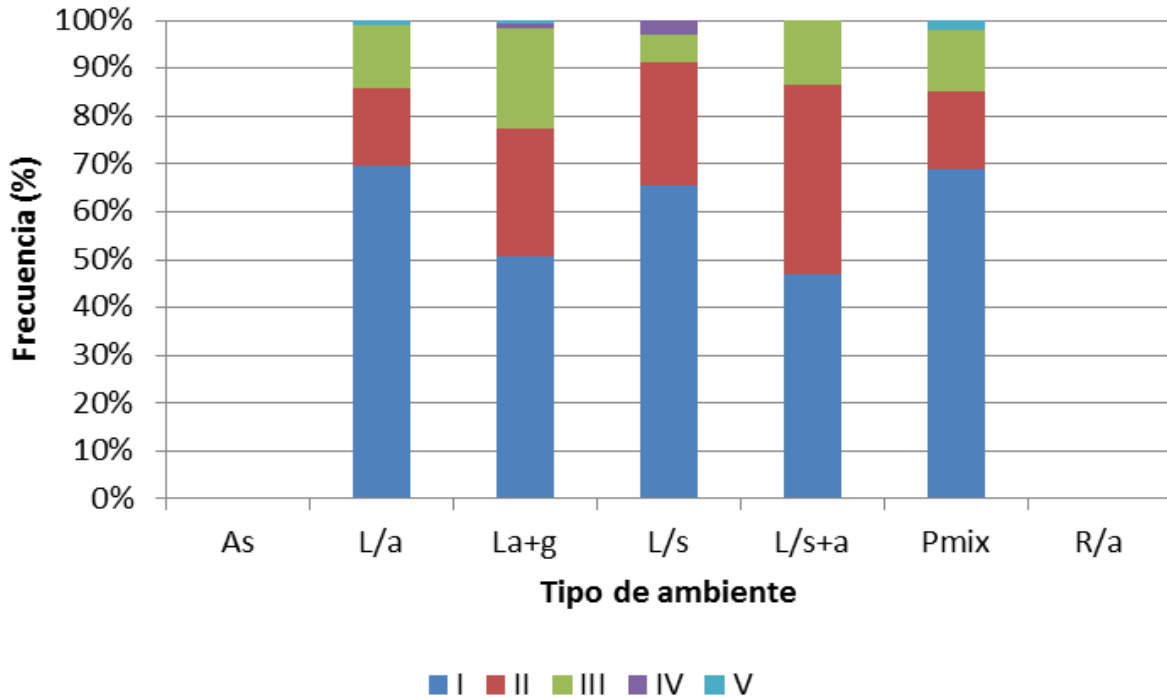
#### IV.2.2.4.3.3.4 Estructura de tallas

En la época de lluvias, se definieron seis categorías de tamaños de peces; siendo el ambiente L/a+g el que presentó todas las categorías, registrando la mayor frecuencia los peces pequeños pertenecientes a la categoría I y II, con una frecuencia de observación del 59.0% y 35.1% respectivamente; los peces de mayor tamaño categoría V y VI solo aportaron una frecuencia del 0.5% y 1.0% caso contrario del ambiente L/s, que fue donde se observó la menor estructura, con solo cuatro categorías presentes, dominando los peces pequeños categoría I con 46.2% y los peces medianos englobados en la categoría III con 26.4% de frecuencia de observación. Los demás ambientes registraron cinco de las seis categorías de tallas, en todos estos ambientes dominaron los peces pequeños categoría I, aportando una frecuencia de observación que va desde 46.3%, en el ambiente L/s+a, hasta más del 69%, como se observa en los ambientes Pmix y L/a.



**Figura 119.** Estructura de tallas para peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-30, V > 25 cm de longitud.

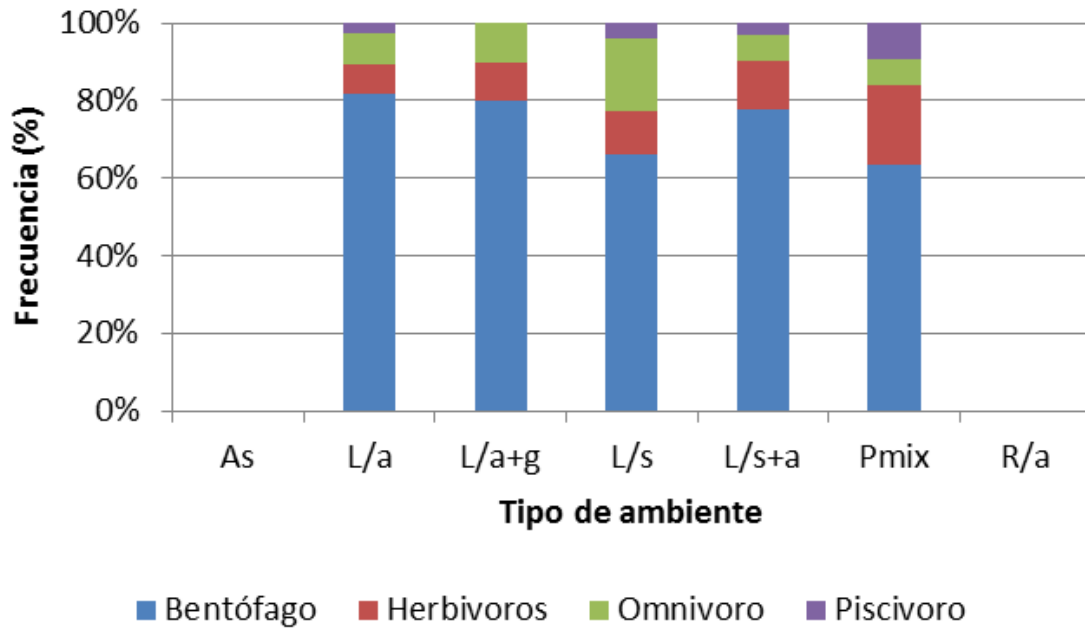
En la época de secas se registraron cinco categorías de tallas, dominando en todos los ambientes los peces pequeños categoría I. El ambiente La+g registró el espectro completo, con una dominancia del 50.5% de los peces categoría I. Los ambientes L/a, Pmix y L/s, presentaron cuatro de las cinco categorías, en los dos primeros ambientes mencionados, estuvo ausente la categoría IV, y en el ambiente L/s no se observaron peces grande categoría V; en estos tres sitios dominaron los peces pequeños, con una frecuencia de observación por arriba del 65%. El ambiente L/s+a solo registró tres categorías de peces, siendo más abundantes los peces categoría I, con el 46.9%% de frecuencia de registro.



**Figura 120.** Estructura de tallas para peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas. I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-30, V > 25 cm de longitud.

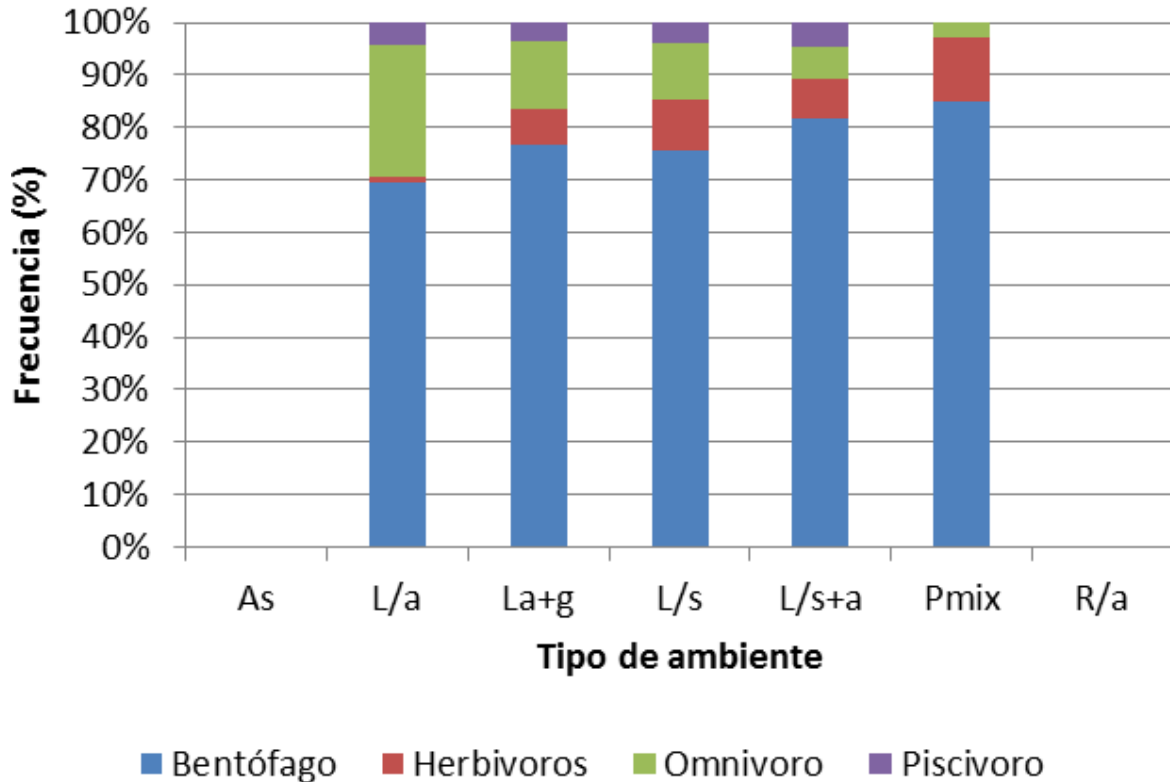
#### IV.2.2.4.3.3.5 Grupos funcionales

En la época de lluvias, se definieron cuatro grupos tróficos, de los cuales, los peces bentófagos dominaron en todos los ambientes; presentando la mayor frecuencia en L/a, con un valor de 81.9%; dentro de este mismo ambiente, los peces omnívoros registraron el segundo valor más alto con el 8.4%, y los piscívoros solo obtuvieron el 2.4%. El ambiente Pmix registró el valor más bajo de peces bentófagos, sin dejar de ser dominantes, con un 63.6% de frecuencia, sin embargo, este ambiente presentó el valor más alto de peces herbívoros con un 20.3%. El ambiente L/a+g obtuvo solo tres grupos tróficos, dominando los bentófagos con un 80% de frecuencia, los omnívoros registraron el 10.2% de la frecuencia, mientras que los herbívoros obtuvieron 9.8%.



**Figura 121.** Grupos tróficos para peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias. Bento = Bentófago, Herbi = Herbívoro, Ictio=Ictiófago, Omni=Omnívoro; Planc = Planctófago.

En la época de secas se registraron cuatro grupos tróficos, estando presentes en cuatro de los cinco ambientes; dominado los peces bentófagos con más del 76.7% de frecuencia de observación en el ambiente La+g; con el 75.5% de frecuencia para el ambiente L/s y con el 69.6% de frecuencia en el ambiente L/a. El ambiente Pmix, solo se presentaron tres grupos tróficos, dominando los bentófagos con el 85% de frecuencia de observación.



**Figura 122.** Grupos tróficos para peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en la época de secas. Bento = Bentófago, Herbi = Herbívoro, Ictio=Ictiófago, Omni=Omnívoro; Planc = Planctófago.

#### IV.2.2.4.3.3.6 Comparación entre las dos épocas del año

La comunidad de peces presentó una cierta estabilidad en los parámetros comunitarios estimados entre los muestreos de la época de lluvias y secas. Los cambios más notorios se observan en el ambiente L/s con una reducción en el número de especies y en la abundancia en la época de secas, y una reducción del número de especies en el ambiente La+g, pero con una abundancia similar; manteniendo en ambos casos una asociación de especies dominante similar.

**Tabla 33.** Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para peces arrecifales por tipo de ambiente en dos épocas: Lluvias (agosto 2018) y secas (enero y febrero del 2019).

AMBIENTE	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (org/m <sup>2</sup> )		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
As						
L/a	18	15	0.50	0.44	Hbiv, Asax	Hfla, Hbiv
La+g	30	17	1.30	1.37	Hbiv, Tbif	Hbiv, Tbif
L/s	18	9	0.50	0.31	Hbiv	Hflav, Hbiv
L/s+a	10	16	0.30	0.68	Hbiv,	Hbiv, Hfalv
Pmix	16	18	0.30	0.40	Hbiv, Hplu, Hpoe	Hflav, Hbiv
R/a						

#### IV.2.2.4.3.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos)

##### IV.2.2.4.3.4.1 Distribución y composición de especies

En cuanto a la vegetación marina, durante la época de lluvias, se encontró una elevada riqueza específica, registrando un total de 56 especies pertenecientes a 30 géneros y 5 phyla, encontrando diferentes asociaciones de especies características para cada tipo de ambiente. Los ambientes que presentan un sustrato de laja con algún otro tipo de sustrato y/o biota marina (L/a, L/a+g, L/s, Ls+a) presentan una dominancia de algas rojas carnosas de los géneros *Dasya*, y *Laurencia* en asociación con algas verdes calcáreas de los géneros *Halimeda*, *Rhipocephalus* y *Halimeda*. En el ambiente de Pastizal mixto (Pmix) los pastos marinos son dominantes, encontrando las 2 especies de pastos más abundantes del Caribe, *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*. Finalmente, para el ambiente del Arenal somero (A/s) no se tuvieron registros de algas, mientras que para el ambiente Rocas con algas (R/a) las algas verdes calcáreas de crecimiento erecto del género *Halimeda*, junto con el alga verde carnosa de la especie *Caulerpa prolifera*, fueron las más abundantes.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 34.** Lista de especies y abundancia relativa de la vegetación marina del Sistema Ambiental Regional durante la época de lluvias. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

División	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a	
Chlorophyta	Acetabularia	<i>crenulata</i>				E				
		<i>sp.</i>					E			
	Avrainvillea	<i>asarifolia</i>		E	E					
		<i>longicaulis</i>						R		
	Caulerpa	<i>cupressoides</i>		E						
		<i>mexicana</i>			R	A	R		C	
		<i>paspaloides</i>		R		R				
		<i>prolifera</i>		E	E	C	C	E	A	
		<i>verticillata</i>			R			R		
	<i>Codium</i>	<i>repens</i>			E	E		E		
	<i>Dasycladus</i>	<i>vermicularis</i>		E	E	E	E	R		
	<i>Derbesia</i>	<i>sp.</i>			C	R	A			
	<i>Dictyosphaeria</i>	<i>cavernosa</i>		R	R		R	R		
	Halimeda	<i>discoidea</i>		E	R			E	E	
		<i>goreaui</i>							R	
		<i>gracilis</i>		R		A			R	
		<i>incrassata</i>		C	C	E	C	C	D	
		<i>lacrimosa</i>			R			R		
		<i>opuntia</i>		R	E				R	
		<i>tuna</i>		C	C	E	E	E		
	<i>Neomeris</i>	<i>anulata</i>		R	R					
	Penicillus	<i>capitatus</i>			E	E	R	R		
		<i>dumetosus</i>		E	E	E	E	E		
		<i>lamourouxii</i>				E	R	R		
		<i>pyriformis</i>							R	
	<i>Rhipilia</i>	<i>tomentosa</i>		A	E		R	R		
	Rhipocephalus	<i>foenix</i>							R	
		<i>phoenix</i>		E	A	E	E	E		
	Udotea	<i>cyathiformis</i>			E	E	E	E		
		<i>fibrosa</i>		E	E	C	E	E		
<i>flabellum</i>								R		
<i>occidentalis</i>					E					
<i>wilsoni</i>							R			
<i>Valonia</i>	<i>macrophysa</i>		R		R					
Phaeophyta	<i>Dictyopteris</i>	<i>justii</i>						R		
	<i>Dictyota</i>	<i>caribaea</i>		C				R		
		<i>cervicornis</i>		R	E		R			
		<i>crenulata</i>			E			R		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

División	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a	
		<i>pulchella</i>		E				R		
	<i>Hypnea</i>	<i>cervicornis</i>					E			
	<i>Lobophora</i>	<i>variegata</i>					R	R		
	<i>Sargassum</i>	<i>fluitans</i>			R					
		<i>natans</i>					R			
Rhodophyta	<i>Bryothamnion</i>	<i>triquetrum</i>				C		R		
	<i>Ceramium</i>	<i>nitens</i>				E				
	<i>Dasya</i>	<i>ocellata</i>		C	D	C	C	A		
	<i>Galaxaura</i>	<i>sp.</i>			R					
	<i>Gracilaria</i>	<i>sp.</i>			R			E		
	<i>Heterosiphonia</i>	<i>gibbesi</i>			R		C	E		
	<i>Laurencia</i>	<i>papillosa</i>					E	A		
		<i>poiteaui</i>			E	A		C	E	
		<i>variegata</i>						R	E	
<i>Liagora</i>	<i>sp.</i>			R						
Magnoliophyta	<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>		D	E	A	C	D		
	<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>		C	E	C	E	A		
Cyanobacteria	<i>Lyngbya</i>	<i>sp.</i>		E				E		
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	<b>36</b>	<b>3</b>	

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

En la época de secas, se registró una elevada riqueza específica con un total de 62 especies pertenecientes a 32 géneros y 5 phyla, encontrando diferentes asociaciones de especies características para cada tipo de ambiente. Los ambientes que presentan un sustrato de laja (L/a, L/a+g, L/s, Ls+a) presentan una dominancia de algas rojas carnosas de los géneros *Dasya*, y *Laurencia* en asociación con algas verdes calcáreas de los géneros *Halimeda*, *Rhipocephalus* y *Halimeda*. En el ambiente de Pastizal mixto (Pmix) los pastos marinos son dominantes, encontrando las mismas 2 especies: *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*. Y para el ambiente del Arenal somero (A/s) no se tuvieron registros de algas, mientras que para el ambiente Rocas con algas (R/a) son dominantes las algas verdes calcáreas de crecimiento erecto del género *Halimeda*, junto con el agla verde carnosa de la especie *Caulerpa prolifera*.

**Tabla 35.** Listado de especies y abundancia relativa de la vegetación marina para el Sistema Ambiental Regional del proyecto durante la época de secas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).

División	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a	
Chlorophyta	<i>Acetabularia</i>	<i>crenulata</i>			R					
	<i>Avrainvillea</i>	<i>asarifolia</i>		E	E	E	E	R		
		<i>fibrosa</i>				E				
		<i>longicaulis</i>						R		
	<i>Caulerpa</i>	<i>cupressoides</i>		R						
		<i>mexicana</i>			R				A	
		<i>prolifera</i>		C	E		E	R	D	
		<i>racemosa</i>					R			
		<i>sertulariodes</i>			R					
		<i>verticillata</i>			R					
	<i>Dasycladus</i>	<i>vermicularis</i>		E	R	E	E	R		
	<i>Derbesia</i>	sp.		E	C		C			
	<i>Enteromorpha</i>	sp.					E			
	<i>Halimeda</i>	<i>discoidea</i>						R	R	
		<i>goreavi</i>						R		
		<i>gracilis</i>		R				R	R	
		<i>incrassata</i>		E	E	E	E	C	D	
		<i>lacrimosa</i>			E		E			
		<i>monile</i>						R		
		<i>opuntia</i>		E	R	R			R	
		<i>scabra</i>		E	R		E	E		
		<i>tuna</i>		C	A	C	E	R		
		<i>Neomeris</i>	<i>annulata</i>		R	R				
	<i>anulata</i>				R					
	<i>Penicillus</i>	<i>capitatus</i>				R	E	R		
		<i>dumetosus</i>		E	E	E	E	E		
		<i>lamourouxii</i>			R				R	
		<i>pyriformis</i>							R	
	<i>Rhipilia</i>	<i>tomentosa</i>		C	C		E	R		
	<i>Rhipocephalus</i>	<i>phoenix</i>		E	C	E	C	E		
<i>Udotea</i>	<i>cyathiformis</i>			C	C	E	R			
	<i>fibrosa</i>		E	E	C	E	E			
Phaeophyta	<i>Dictyota</i>	<i>bartayresiana</i>						R		
		<i>cervicornis</i>			R					
		<i>crenulata</i>			E		E	R		
		<i>crispata</i>						R		
		<i>menstrualis</i>			R					

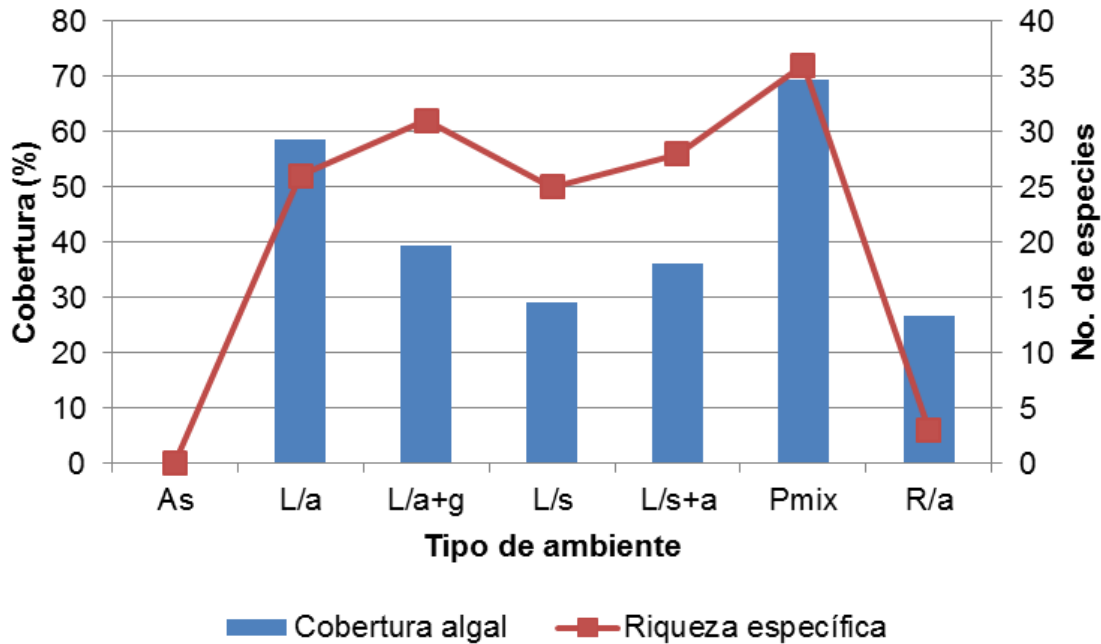
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

División	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a	
		<i>pinnatifida</i>						R		
	<i>Lobophora</i>	<i>variegata</i>						R		
	<i>Sargassum</i>		<i>fluitans</i>				R		A	
			<i>platicarpum</i>					R		
			<i>polyceratium</i>			R				
	<i>Styopodium</i>	<i>zonale</i>			R					
	<i>Turbinaria</i>	<i>turbinata</i>		R						
Rhodophyta	<i>Acanthophora</i>	<i>spicifera</i>		E		A		E		
	<i>Amphiroa</i>	<i>fragilissima</i>		R						
		<i>rigida</i>		E	E		R	R		
	<i>Asparagopsis</i>	<i>taxiformis</i>		E						
	<i>Chondria</i>	<i>sp.</i>			R	E	E			
	<i>Dasya</i>	<i>harveyi</i>		C	A	C	E	E		
		<i>ocellata</i>		A	A	A	A	E		
	<i>Galaxaura</i>	<i>sp.</i>			E					
	<i>Halymenia</i>	<i>sp.</i>					R			
	<i>Heterosiphonia</i>	<i>gibbesii</i>		A	R	E	E	R		
	<i>Hypnea</i>	<i>cervicornis</i>					C			
	<i>Laurencia</i>	<i>papillosa</i>				E	C	A		
<i>poiteaui</i>					E	R	E			
<i>Liagora</i>	<i>sp.</i>		E							
Magnoliophyta	<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>		C	E	E	E	D		
	<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>		C	E		E	D		
Cyanobacteria	<i>Lyngbya</i>	<i>sp.</i>		R						
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>27</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>3</b>	

**Tipos de ambientes:** As = Arenal somero; L/a = Laja con algas; L/a+g = Laja con algas y gorgonáceos; L/s = Laja con sedimentos; L/s+a = Laja con sedimentos y algas; Pmix = Pastizal mixto; R/a = Rocas con algas.

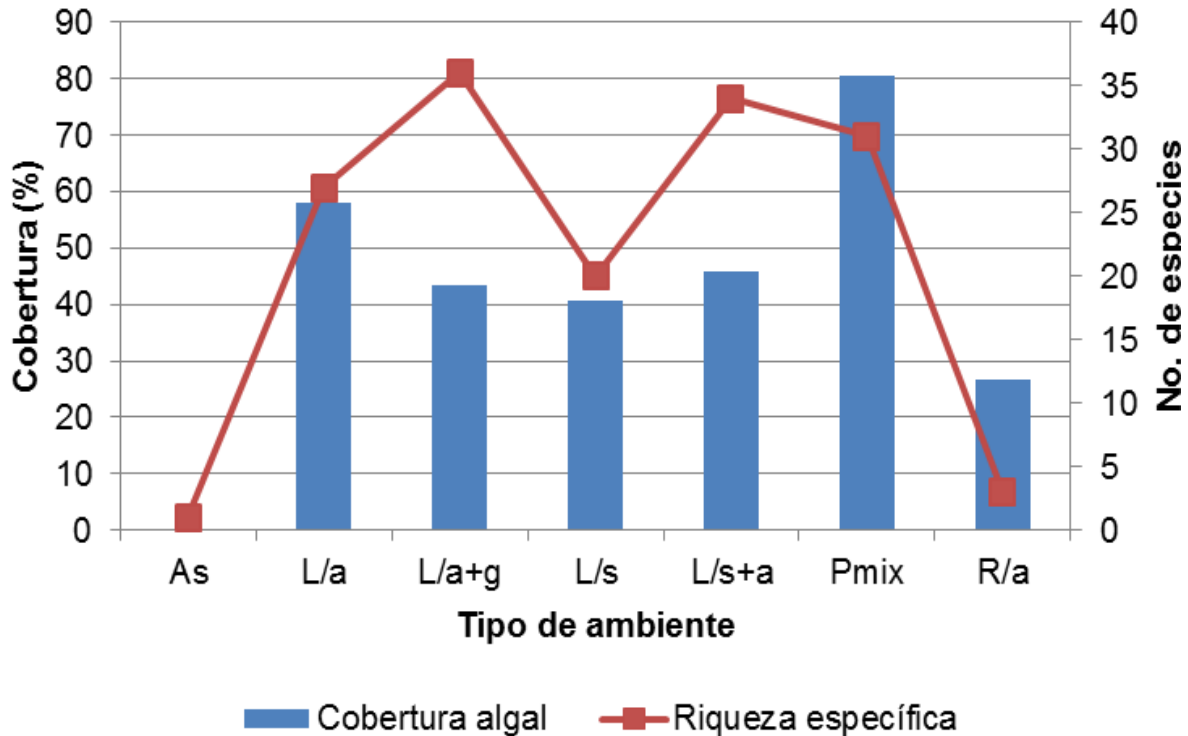
### IV.2.2.4.3.4.2 Abundancia y riqueza específica

En la época de lluvias, el ambiente de Pastizal mixto (Pmix) es el que tiene el valor más alto de cobertura vegetal debido a que la comunidad de pastos marinos es muy densa, con una cobertura promedio del 70%. El ambiente de Laja con algas (L/a) es el que sigue en cobertura con un valor promedio de 60%. El resto de los ambientes presentan una cobertura de algas entre el 25 y 40%, lo cual representa valores bajos en comparación con otros sitios de la región; a excepción del Arenal somero (As) que no presentó vegetación.



**Figura 123.** Abundancia y Riqueza específica de vegetación marina del Sistema Ambiental Regional en la época de lluvias.

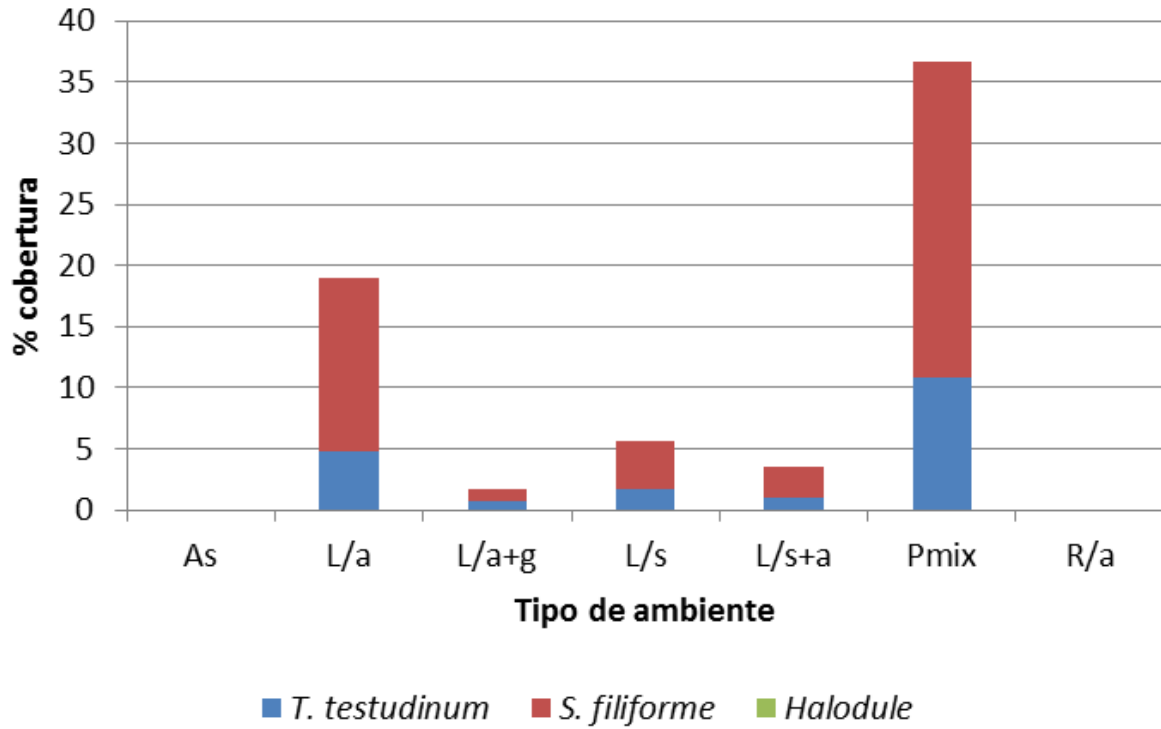
En la época de secas, el ambiente de Pastizal mixto (Pmix) fue el que tuvo el valor más alto de cobertura vegetal debido a que la comunidad de pastos marinos es muy densa, con una cobertura promedio del 80%. El ambiente de Laja con algas (L/a) es el que sigue en cobertura con un valor promedio de casi 60%. El resto de los ambientes presentan una cobertura de algas entre el 25 y 40%, lo cual representa valores bajos en comparación con otros sitios de la región; a excepción del Arenal somero (As) que no presentó vegetación.



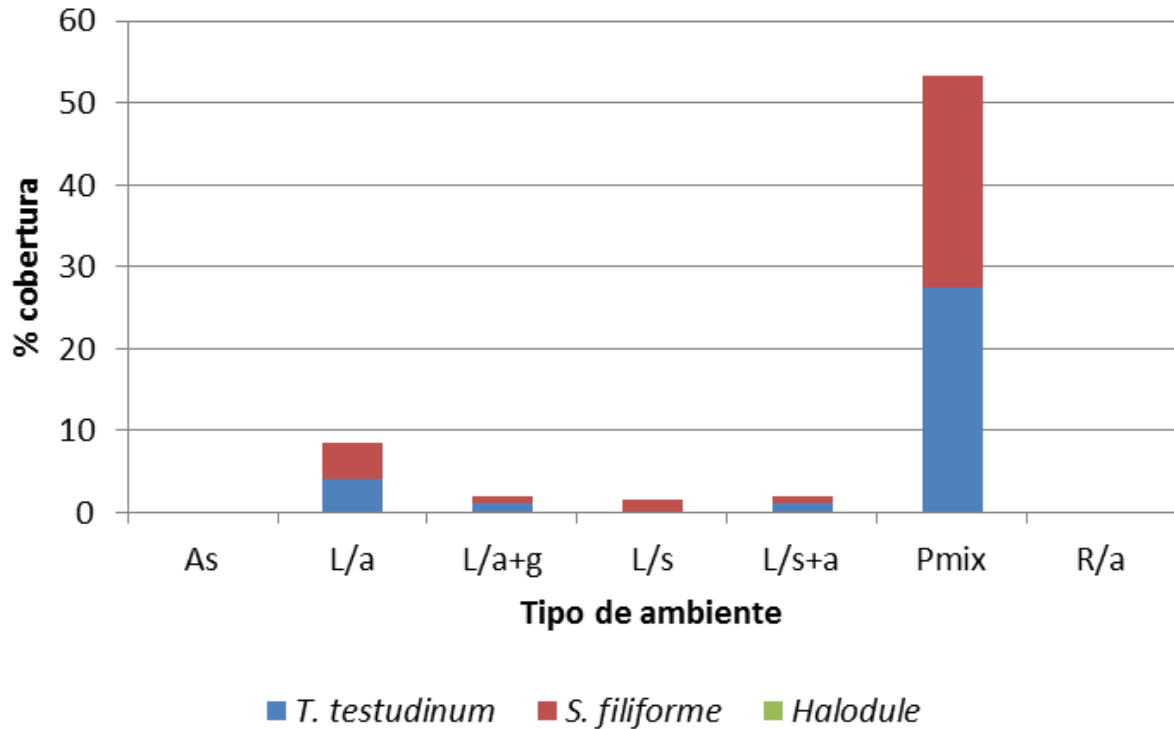
**Figura 124.** Abundancia y Riqueza específica de vegetación marina del Sistema Ambiental Regional en la época de secas.

Analizando la cobertura vegetal exclusiva de pastos marinos durante la época de lluvias, se observa que la abundancia más importante es para el ambiente del Pastizal mixto (Pmix), con una cobertura predominante de la especie *Syringodium filiforme*, que llega a casi 26%, mientras que la de *Thalassia testudinum* pasa poco más de 10%, y en conjunto abarca una cobertura del 36% de pastos marinos en este ambiente. En el ambiente de Laja con algas (L/a) la presencia de pasto marino representa 19% de la cobertura del sustrato; mientras que en el resto de los ambientes es menor al 5%. En todos los casos se observa una dominancia del pasto *S. filiforme* en comparación con la especie *T. testudinum*.





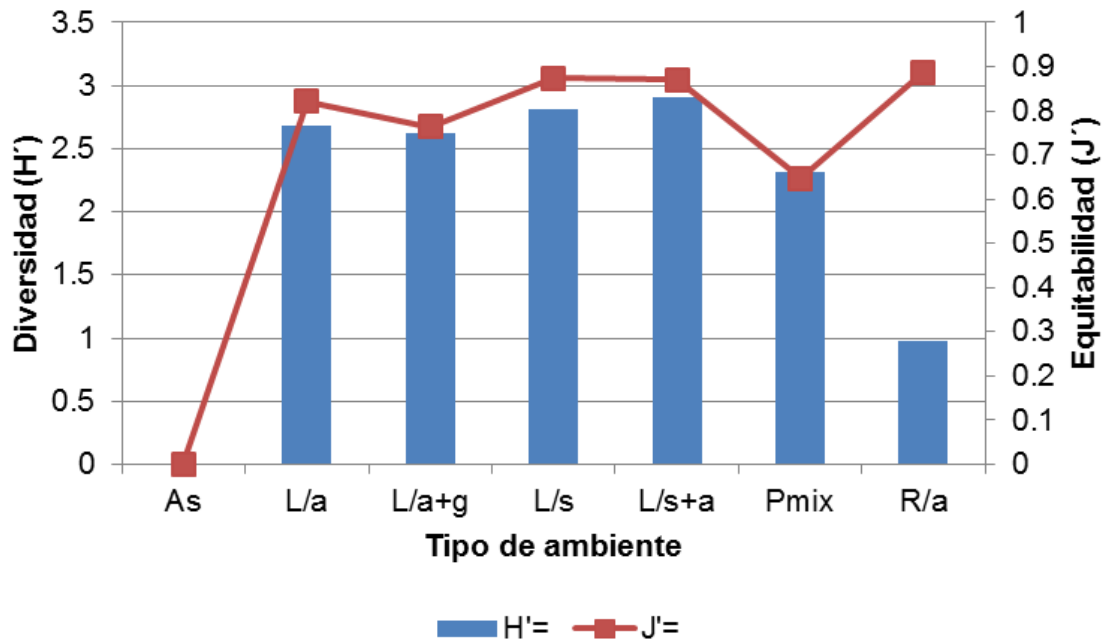
**Figura 125.** Abundancia y Riqueza específica de pastos marinos para el Sistema Ambiental Regional durante la época de lluvias.



**Figura 126.** Abundancia y Riqueza específica de pastos marinos para el Sistema Ambiental Regional durante la época de secas.

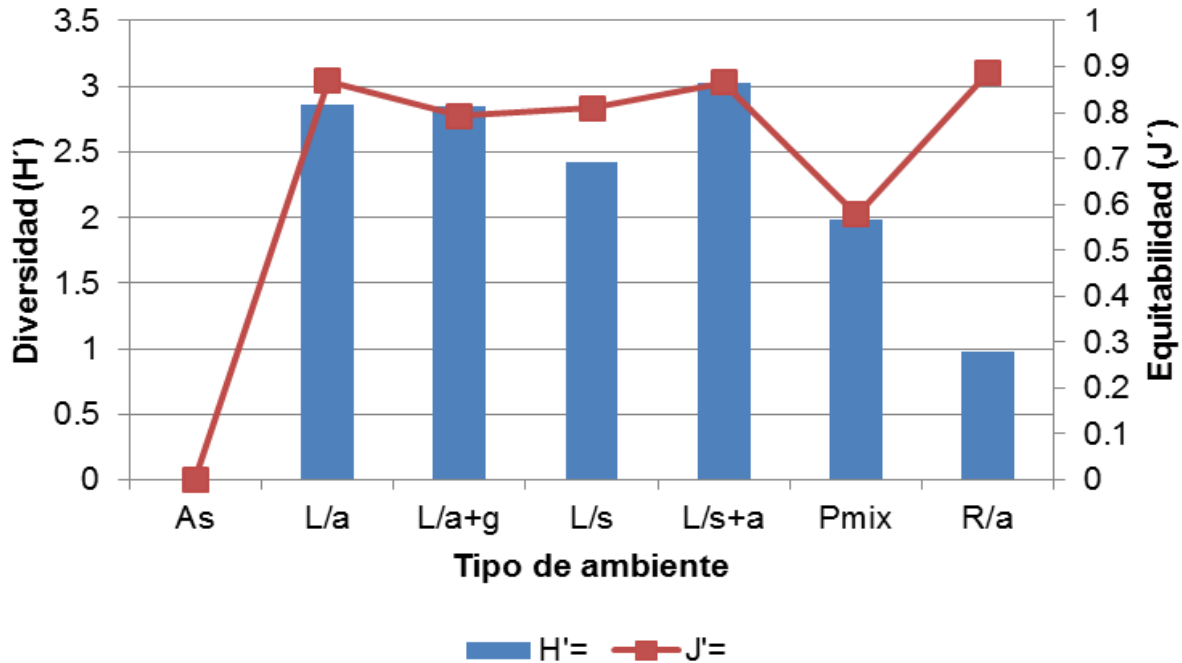
#### IV.2.2.4.3.4.3 Diversidad y equitabilidad

Durante la época de lluvias, la diversidad de algas presentó valores más altos, alrededor de  $H' = 2.6$  a  $2.9$  en los 4 ambientes de laja, con valores de equitabilidad entre  $J' = 0.76$  y  $0.86$ ; mientras que el Pastizal mixto (Pmix) tuvo valores de  $H' = 2.32$  y  $J' = 0.65$ , y el de Rocas con algas (R/a) valores de  $H' = 0.97$  y  $J' = 0.89$ .



**Figura 127.** Diversidad de vegetación marina para el Sistema Ambiental Regional durante la época de lluvias. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

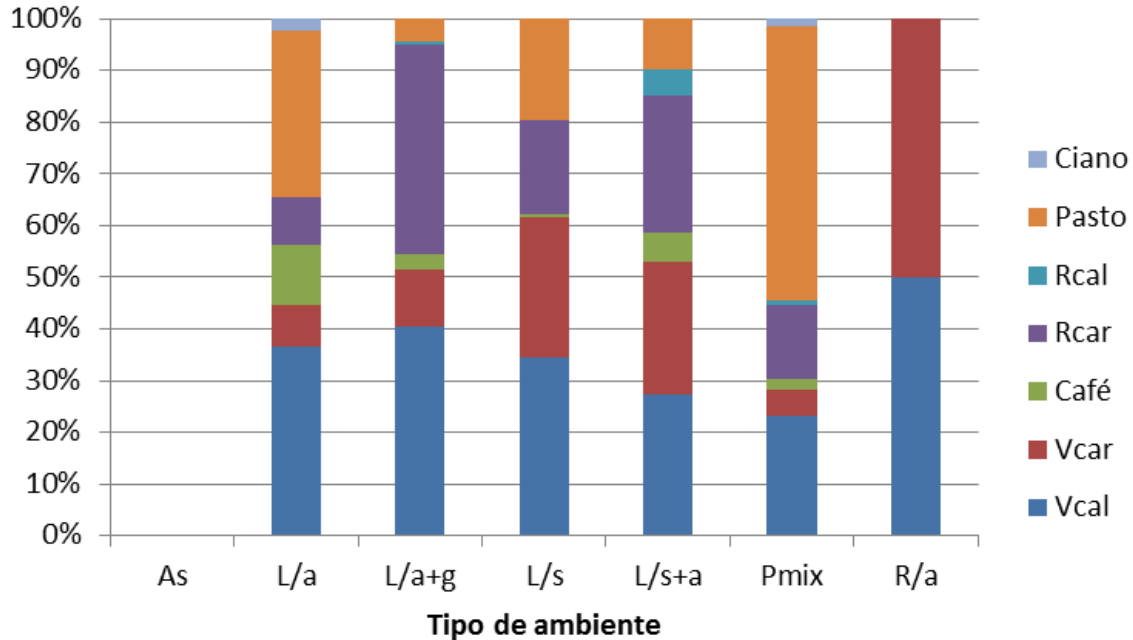
Durante la época de secas la diversidad de algas presentó valores más altos, alrededor de  $H'=2.8$  a  $3.0$  en los 4 ambientes de laja, con valores de equitabilidad entre  $J'=0.79$  y  $0.87$ ; mientras que el Pastizal mixto (Pmix) tuvo valores de  $H'=1.98$  y  $J'=0.58$ , y el de Rocas con algas (R/a) valores de  $H'=0.97$  y  $J'=0.89$ .



**Figura 128.** Diversidad de vegetación marina para el Sistema Ambiental Regional durante la época de secas. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

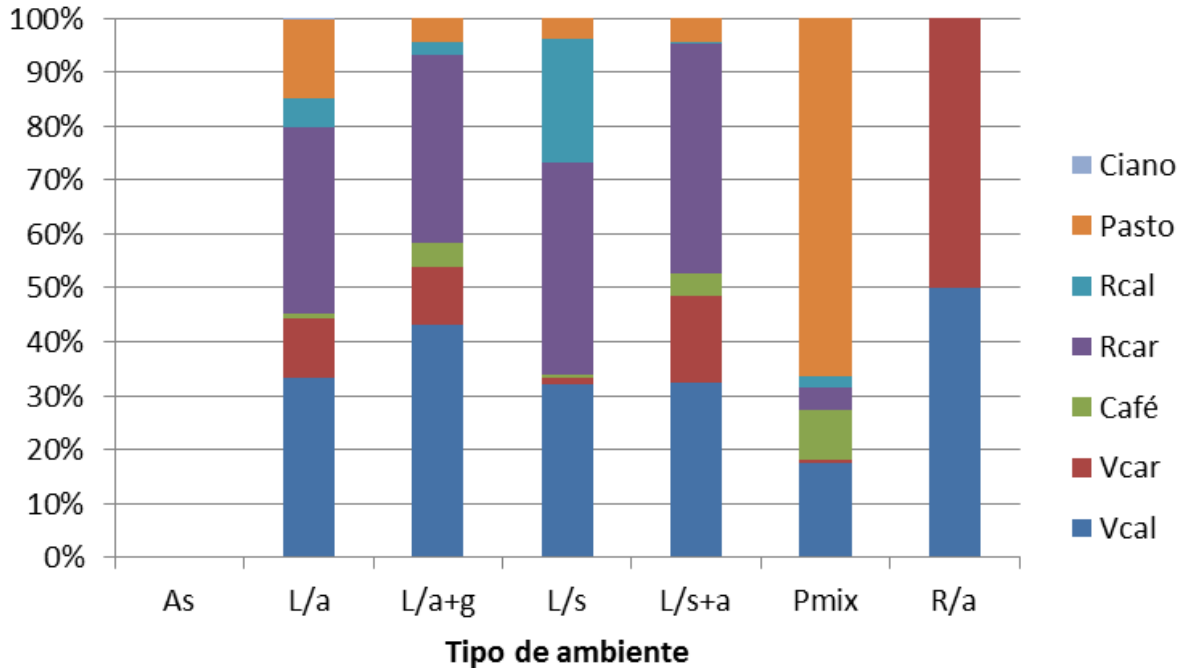
#### IV.2.2.4.3.4.4 Grupos funcionales

Finalmente, durante la época de lluvias, el análisis de grupos funcionales para macroalgas muestra una abundancia de algas verdes calcáreas en la mayoría de los ambientes, y una baja presencia de algas verdes carnosas en la mayoría de los ambientes, a excepción del de Rocas con algas (R/a). Las algas rojas carnosas también son más abundantes en los ambientes de laja. El ambiente del Pastizal se denota la dominancia de pastos marinos, y su abundancia en el ambiente de Laja con algas (L/a). Las cianobacterias se encuentran en una baja proporción en solamente 2 tipos de ambientes, siendo un indicador de presencia alta de nutrientes en la zona.



**Figura 129.** Grupos taxonómicos para vegetación marina del Sistema Ambiental Regional durante la época de lluvias. Vcar = Clorofitas carnosas, Vcal = Clorifitas calcáreas, RcaR = Rodofitas carnosas, Rcal = Rodofitas calcáreas, Café = Feofitas, Pasto = Magnoliofitas., Ciano = Cianobacterias.

Durante la época de secas se observa un patrón similar, con una abundancia de algas verdes calcáreas en la mayoría de los ambientes, y una baja presencia de algas verdes carnosas en la mayoría de los ambientes, a excepción del de Rocas con algas (R/a). Las algas rojas carnosas también son más abundantes en los ambientes de laja. El ambiente del Pastizal se denota la dominancia de pastos marinos, y su abundancia en el ambiente de Laja con algas (L/a). Las cianobacterias se encuentran en una baja proporción en solamente 2 tipos de ambientes, siendo un indicador de presencia alta de nutrientes en la zona.



**Figura 130.** Grupos taxonómicos para vegetación marina del Sistema Ambiental Regional durante la época de secas. Vcar = Clorofitas carnosas, Vcal = Clorifitas calcáreas, RcaR = Rodofitas carnosas, Rcal = Rodofitas calcáreas, Café = Feofitas, Pasto = Magnoliofitas., Ciano = Cianobacterias.

#### IV.2.2.4.3.4.5 Comparación entre las dos épocas del año

En cuanto a la vegetación marina se observa en general un decremento en la riqueza específica y abundancia, aunque las especies dominantes permanecen similares en la mayoría de los casos. No se encuentra ningún tipo de ambiente con cambios drásticos, la riqueza específica tiene variaciones entre 1 a 6 especies entre épocas, y el decremento en cobertura no es mayor al 10% en ningún ambiente. La composición de especies se muestra distinta en el ambiente de Laja con algas (L/a, con una dominancia de algas rojas calcáreas en la época de lluvias, en comparación con la presencia más abundante de pasto marino y algas verdes en la época de secas. El resto de los ambientes muestra una asociación de especies similar.



**Tabla 36.** Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para vegetación marina por tipo de ambiente en dos épocas: Lluvias (agosto 2018) y secas (enero y febrero del 2019).

AMBIENTE	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (% cob)		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
As	0	0	0.00	0.00	-	-
L/a	27	26	58.00	58.73	Doce, Hgib	Sfil, Rtom
La+g	36	30	43.44	39.33	Dhar, Doce, Htun	Doce, Lpoi
L/s	20	25	40.67	29.00	Aspi, Doce	Cmex, Hgra, Lpap
L/s+a	34	28	46.00	36.17	Doce, Lpap	Doce, Lpoi
Pmix	31	36	80.44	69.31	Sfil, Ttes	Sfil, Ttes
R/a	3	3	26.67	26.67	Cpro, Hinc	Cpro, Hinc

#### IV.2.2.4.3.5 Invertebrados

##### IV.2.2.4.3.5.1 Distribución y composición de especies

Adicionalmente se realizó un registro de otro tipo de invertebrados presentes en los diferentes ambientes encontrados para el Sistema Ambiental Regional.

En la época de lluvias se registró un total de 28 especies de invertebrados, pertenecientes a 25 géneros y 24 familias. Se registraron organismos pertenecientes a 7 diferentes grupos, tales como anélidos, anémonas, coralimorfos, crustáceos, equinodermos, esponjas y moluscos. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 15 especies presentes. La mayor cantidad de especies registradas fue 15 y se registró en L/a+g, mientras que en los ambientes As y R/a no se registró ninguna especie.

**Tabla 37.** Lista de especies de invertebrados en el Sistema Ambiental Regional. 1 = Presencia de la especie en la época de lluvias.

Grupo	Familia	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Anélido	Amphinomidae	<i>Hermodice</i>	<i>carunculata</i>						1	
	Sabellidae	<i>Bispira</i>	<i>brunnea</i>		1					
	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>			1	1	1	1	
Anémona	Actiniidae	<i>Condylactis</i>	<i>gigantea</i>				1		1	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Grupo	Familia	Género	Especie	As	L/a	L/a+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a	
	Aiptasiidae	<i>Bartholomea</i>	<i>lucida</i>			1					
Coralimorfo	Ricordeidae	<i>Ricordea</i>	<i>florida</i>		1						
Crustáceo	Palaemonidae	<i>Periclimenes</i>	<i>yucatanicus</i>					1			
	Palinuridae	<i>Panulirus</i>	<i>argus</i>			1	1		1		
Equinodermo	Oreasteridae	<i>Oreaster</i>	<i>reticulatus</i>						1		
Esponja	Aplysinidae	<i>Aplysina</i>	<i>cauliformis</i>			1					
			<i>fistularis</i>			1	1	1	1		
	Axinellidae	<i>Ptilocaulis</i>	<i>sp</i>			1					
	Callyspongiidae	<i>Callyspongia</i>	<i>vaginalis</i>			1					
	Clionaidae	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>		1	1	1	1	1		
			<i>Cliona</i>	<i>caribbaea</i>			1	1		1	
	Crambeidae	<i>Monanchora</i>	<i>unguifera</i>			1					
	Desmacididae	<i>Desmapsamma</i>	<i>anchorata</i>					1	1		
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>		1	1		1	1		
	Irciniidae	<i>Ircinia</i>	<i>campana</i>						1		
			<i>felix</i>		1	1		1			
			<i>strobilina</i>			1		1	1		
	Niphatidae	<i>Amphimedon</i>	<i>compressa</i>			1		1	1		
Tedaniidae	<i>Tedania</i>	<i>ignis</i>		1							
Thorectidae	<i>Hyrrios</i>	<i>violaceus</i>		1	1			1			
Molusco	Cassidae	<i>Cassis</i>	<i>sp</i>						1		
	Conidae	<i>Conus</i>	<i>sp</i>			1	1				
	Ranellidae	<i>Charonia</i>	<i>variegata</i>						1		
	Strombidae	<i>Strombus</i>	<i>gigas</i>		1	1	1	1	1		
<b>Total de especies</b>				<b>0</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

En la época de secas se registraron 6 grupos de invertebrados en los 7 ambientes incluidos en el área de estudio, siendo estos anélidos, anémonas, crustáceos, equinodermos, esponjas y moluscos. Se registró un total de 34 especies de invertebrados, pertenecientes a 29 géneros y 27 familias. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 21 especies presentes.

**Tabla 38.** Lista de especies de invertebrados en el Sistema Ambiental Regional. 1 = Presencia de la especie en la época de secas.

Grupo	Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
Anélido	Sabelidae	<i>Bispira</i>	<i>brunnea</i>		1	1				
	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>			1		1		
Crustáceo	Inachidae	<i>Stenorhynchus</i>	<i>seticornis</i>			1	1	1		
	Palaemonidae	<i>Periclimenes</i>	<i>yucatanicus</i>				1	1	1	
	Palinuridae	<i>Panulirus</i>	<i>argus</i>			1		1		
Equinodermo	Cidaridae	<i>Eucidaris</i>	<i>tribuloides</i>			1				
	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>antillarum</i>			1				
	Echinometridae	<i>Echinometra</i>	<i>viridis</i>		1					
	Oreasteridae	<i>Oreaster</i>	<i>reticulatus</i>						1	
	Toxopneustidae	<i>Tripneustes</i>	<i>ventricosus</i>		1			1		
Esponja	Agelasidae	<i>Agelas</i>	<i>clathrodes</i>			1				
	Aplysinidae	<i>Aplysina</i>	<i>cauliformis</i>			1		1		
			<i>fistularis</i>		1	1		1		
			<i>fulva</i>			1				
		<i>Pseudoceratina</i>	<i>crassa</i>				1			
	Axinellidae	<i>Dragmacidon</i>	<i>sp</i>			1		1		
	Callyspongiidae	<i>Callyspongia</i>	<i>plicifera</i>				1			
			<i>vaginalis</i>				1			
	Clathrinidae	<i>Clathrina</i>	<i>canariensis</i>				1			
	Clionaidae	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>				1			1
		<i>Cliona</i>	<i>caribbaea</i>		1	1		1		
	Crambeidae	<i>Monanchora</i>	<i>arbuscula</i>						1	
	Desmacididae	<i>Desmapsamma</i>	<i>anchorata</i>					1		
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>		1	1				1
	Iotrochotidae	<i>Iotrochota</i>	<i>birotulata</i>				1			
	Ircinidae	<i>Ircinia</i>	<i>campana</i>				1			
			<i>felix</i>		1	1				
<i>strobilina</i>				1						
Niphatidae	<i>Niphates</i>	<i>digitalis</i>				1				
Tedaniidae	<i>Tedania</i>	<i>ignis</i>				1	1	1	1	
Thorectidae	<i>Hyrtios</i>	<i>violaceus</i>					1			
Anémóna	Actiniidae	<i>Condylactis</i>	<i>gigantea</i>					1	1	
Molusco	Ovulidae	<i>Cyphoma</i>	<i>gibbosum</i>					1		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Grupo	Familia	Género	Especie	As	L/a	La+g	L/s	L/s+a	Pmix	R/a
	Strombidae	<i>Lobatus</i>	<i>gigas</i>				1	1		
<b>Total</b>				<b>0</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>0</b>

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

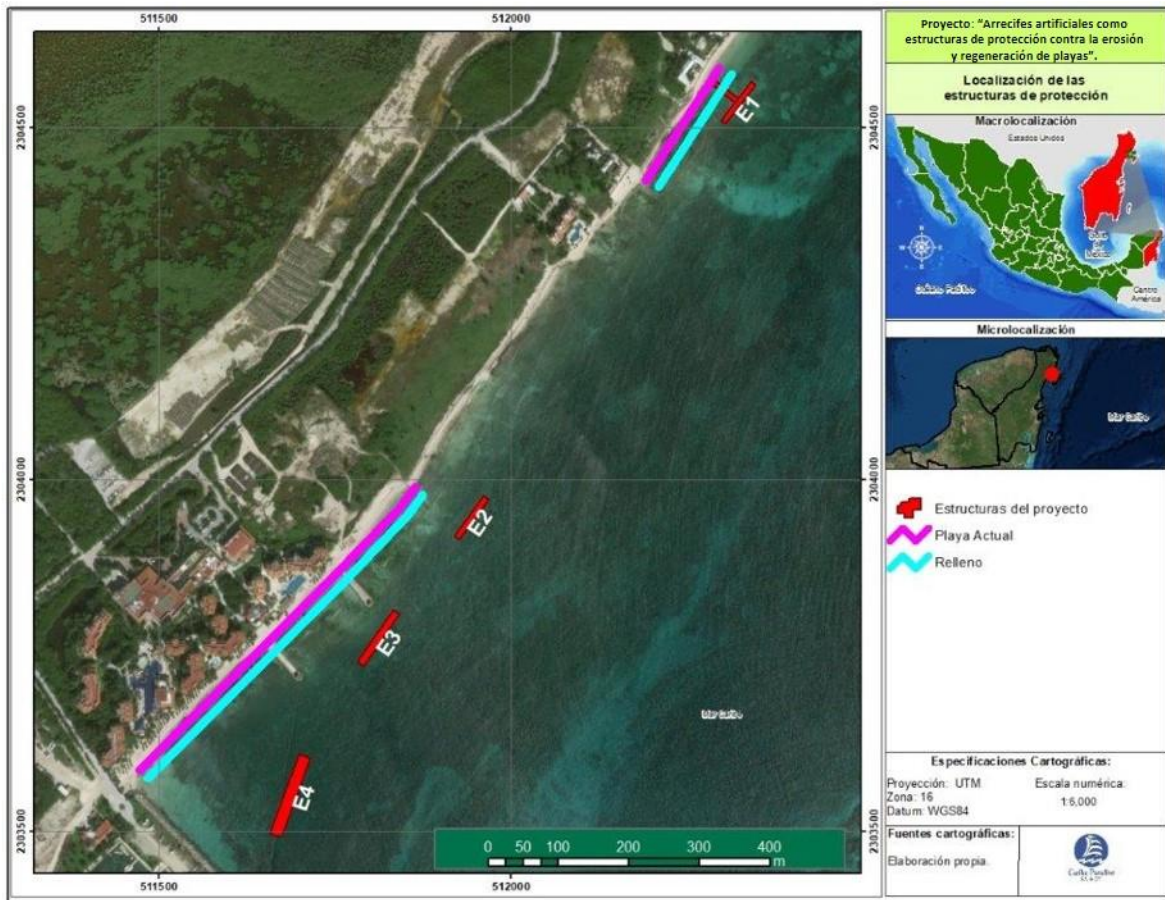
### IV.2.2.4.4 Caracterización biológica en las áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales

#### IV.2.2.4.4.1 Temporada de lluvias (11 de agosto)

El área programada para instalar los arrecifes artificiales (estructuras de protección costera) se encuentra sobre la planicie de laja somera, y abarca 3 tipos de ambientes: La mayor parte de la ruta trazada para estas estructuras corresponde a un ambiente de Laja con sedimento y de laja con sedimento y algas, y en algunos segmentos atraviesa por el ambiente de Pastizal mixto.

La Estructura 1 (E-1) tiene programada una longitud de 70 metros, a una profundidad que va de 1.4 a 2.3 metros, la Estructura 1a (E-1a) tiene programada una longitud de 50 metros, a una profundidad que va de 1.7 a 0 metros, la Estructura 2 (E-2) también tiene una longitud de 70 metros, a una profundidad que va de 2.0 a 2.2 m, la Estructura 3 (E-3) tiene 90 metros, a una profundidad que va de 1.9-2.6 metros, y la Estructura 4 (E-4) es la más larga, con una distancia de 120 metros, y también la más profunda, de 3.8 a 4.5 metros.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



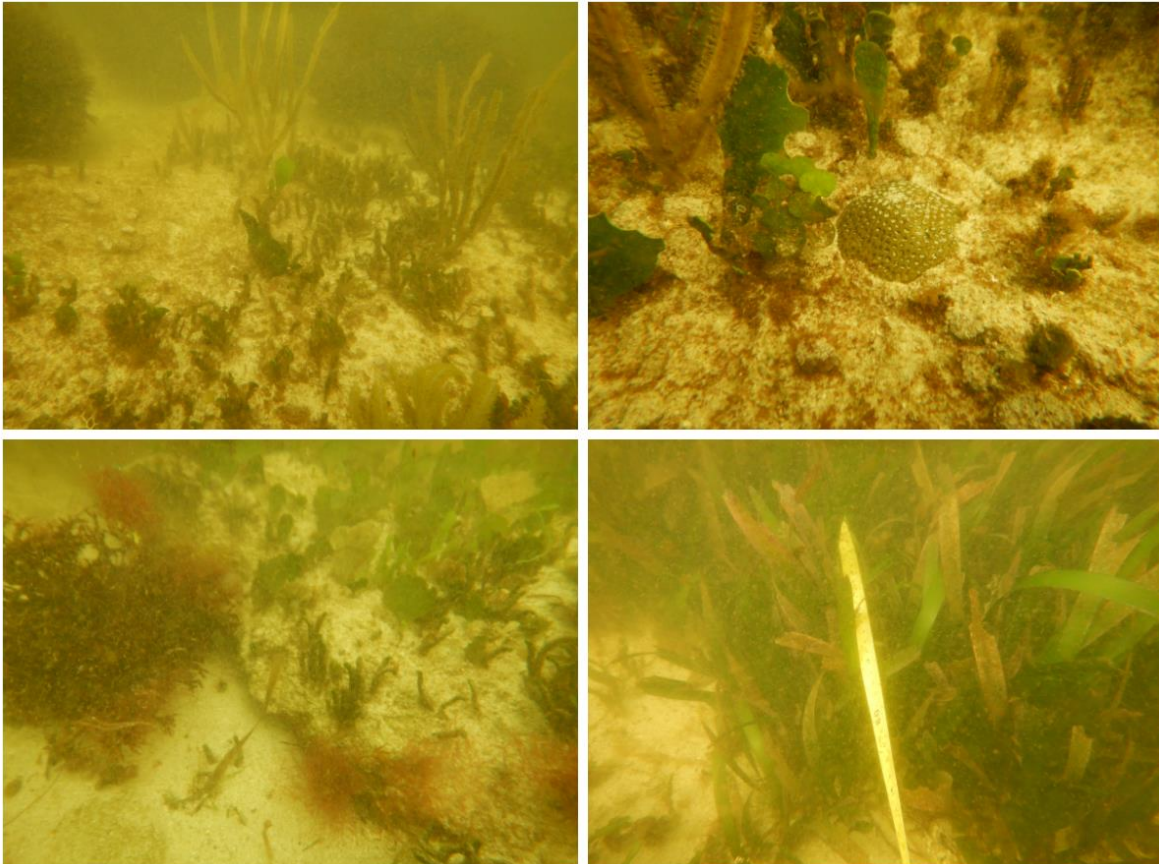
**Figura 131.** Ubicación de los arrecifes artificiales que se pretenden instalar para el proyecto y nomenclatura utilizada para reconocimiento de biota asociada: Estructura 1 (E-1), Estructura 2 (E-2), Estructura 3 (E-3) y Estructura 4 (E-4).

A continuación, se presentan detalles para cada estructura.

### Estructura 1 (E-1)

La ubicación en donde se pretende colocar la Estructura 1 es la que se encuentra más al norte, en un sustrato de laja con sedimento, siendo una capa muy delgada de arena fina, y presencia de algunas rocas cubiertas de algas sobre el sustrato de laja. El sitio presenta una cobertura de algas del 50%, con una dominancia de algas verdes de las especies *Halimeda gracilis* y *Caulerpa mexicana*, seguida del alga roja *Bryothamnion triquetrum*. Sobre la ruta en la que se programa instalar esta estructura se encuentran 2 pequeños parches de pasto marino, con dominancia de *Thalassia testudinum*, que presenta una altura promedio de 25 cm, con hojas de color verde brillante, puntas rotas de color café, y muy baja presencia de epífitas sobre sus hojas. Se registraron algunos ejemplares de gorgonáceos, con dominancia de la especie *Pterogorgia anceps* de tamaño mediano, y algunos ejemplares de colonias pequeñas y dispersas de coral de la especie *Siderastrea siderea*. **La visibilidad del sitio durante el muestreo fue casi nula**, con una distancia máxima de visibilidad de 1.5 metros, **debido a la presencia de sargazo en la zona de playa**. Esta estructura tiene programada una distancia de 70 metros, y la ruta sobre la cual se pretende instalar va de 2.3 metros en el norte, hasta 1.4 metros en su parte sur.



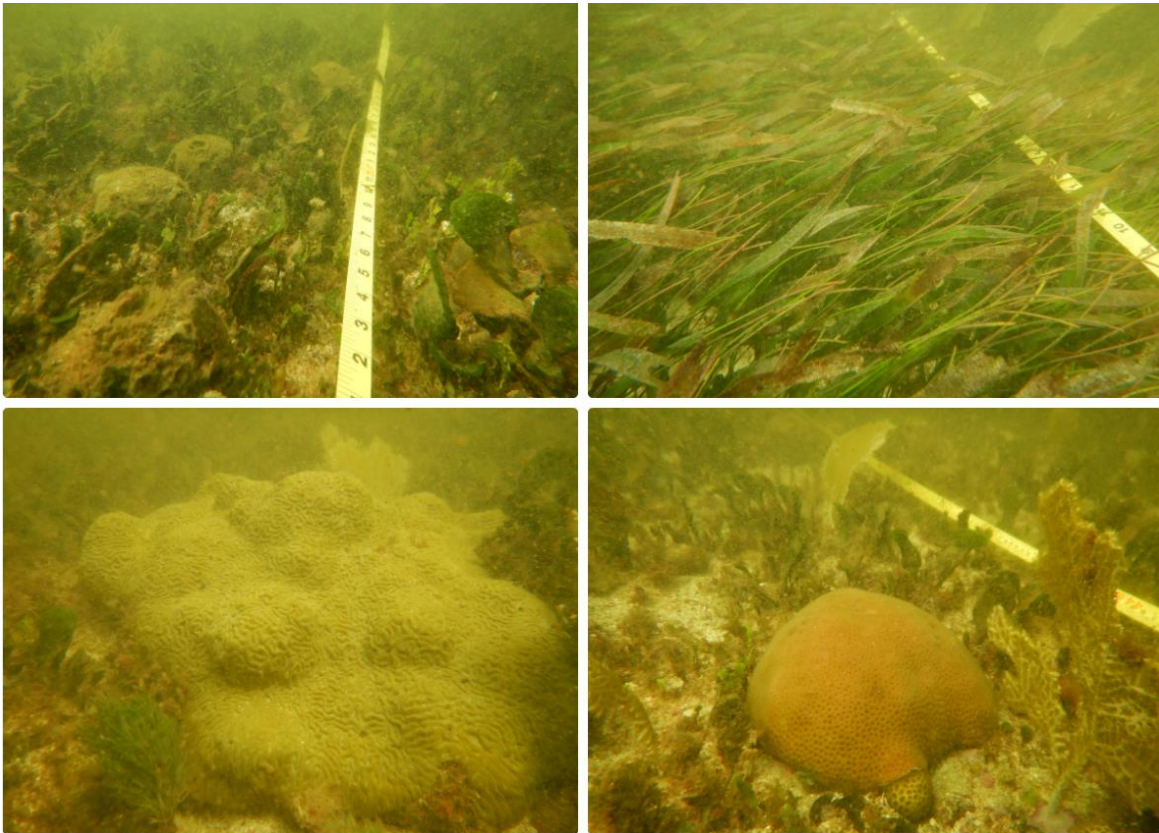


**Figura 132.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E1 para el proyecto. Laja con sedimento y algas, con presencia de gorgonáceos (arriba izq.), pequeñas colonias de coral de la especie *Siderastrea siderea* (arriba der.), Rocas cubiertas de algas (abajo izq.) y parches de pasto marino (abajo der.).

### **Estructura 2 (E-2)**

La Estructura 2 se pretende instalar sobre un sustrato de Laja con sedimento de arena gruesa. El sitio presenta una cobertura vegetal del 54%, con una alta dominancia de la especie *Rhipilia tomentosa*, seguida del pasto marino *Thalassia testudinum* que se encuentra en parches dispersos sobre la ruta prevista para la instalación de esta estructura. La altura del dosel de estos pastizales fue de 20 cm en promedio, con hojas de color verde oscuro y puntas rotas cafés, con baja presencia de epífitas. Algunos parches de pasto son únicamente de *T. testudinum*, pero otros son mixtos con presencia de *Syringodium filiforme*. Los gorgonáceos en

este sitio son menos abundantes que en la E-1, siendo principalmente colonias pequeñas del abanico de mar del género *Gorgonia* sp. Los corales son mucho más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de varios tamaños, la mayoría de forma incrustante, pero algunas masivas, muchas de las cuales presentaron daño por sedimentación y mortalidad parcial, y también se registraron varias colonias de tamaño mediano del coral cerebro de la especie *Pseudopterogorgia clivosa*. En este sitio se observaron varias esponjas masivas y anémonas del género *Chondrilactis* que se asocian a sitios con alto grado de eutroficación. **La visibilidad en este sitio también estuvo afectada por la presencia de Sargazo**, pero no tan severa como en la E-1, ya que se registró 4 metros de visibilidad en esta zona. Esta estructura tiene programada una distancia de 70 metros, y la ruta sobre la cual se pretende instalar presentó una profundidad de 1.7 metros en la parte norte, hasta 1.6 en la sur.



**Figura 133.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E-2. Laja cubierta de algas (arriba izq.) y Pastizal mixto (arriba der.), y ejemplares de

corales de la especie *Pseudodiploria strigosa* (abajo izq.) y *Siderastrea siderea* (abajo der.).

### Estructura 3 (E-3)

La Estructura 3 se pretende colocar sobre un área que presenta un sustrato de laja con algas alternado con parches de pasto marino. En esta sección el pasto marino está dominado por la especie *Syringodium filiforme*, y la presencia de *Thalassia testudinum* es menor. La cobertura vegetal en este sitio es elevada, cercana al 90%, debido a la alta densidad de los pastos marinos que aquí se encuentran. El dosel de la vegetación es de 40 cm en promedio, y las hojas de *T. testudinum* tienen 30 cm de altura, con hojas verde oscuro, las puntas rotas y cafés, y presencia de epífitas. Sobre el pasto marino *S. filiforme* se detectó crecimiento de cianobacterias del género *Lyngbya*, lo que indica una alta presencia de nutrientes en el agua. **También se detectó la presencia de un ojo de agua sobre la ruta determinada para la instalación de esta estructura, por lo que es posible que esta sea la fuente del exceso de nutrientes.** Se encontraron algunas colonias de coral de la especie *Siderastrea siderea* de tamaño grande (mayores a 50 cm de diámetro), y gorgonáceos arborescentes de la especie *Pseudopterogorgia americana* y abanicos de mar del género *Gorgonia*. Esta sección de los arrecifes artificiales se contempla que tenga 90 metros, a una profundidad que va de 2.3 m en la parte norte a 3.2 m en la parte sur.





**Figura 134.** Tipo de ambiente en el área propuesta (en primera instancia) para instalar el arrecife artificial E3. Laja cubierta de algas (arriba izq.) y Pastizal mixto con presencia de un ejemplar de caracol rosado de la especie *Lobatus gigas* (arriba der.), y ejemplares de corales de la especie *Solenastrea* sp. (abajo izq.) y *Siderastrea siderea* (abajo der.).

#### Estructura 4 (E-4)

La Estructura 4 se ubicaba en primera instancia en un área de pastizales, con algunas partes de laja con algas. El pastizal se presenta en 2 grandes parches, uno que inicia desde la parte norte de la estructura hasta el metro 60, y otro que inicia en el metro 90 hasta el extremo sur de la misma. El pastizal se considera mixto, debido a que se encuentran las 2 especies de pasto marino: *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*. El dosel del pasto marino es de 40 a 50 cm, con hojas de T.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

*testudinum* de hasta 40 cm, de color verde oscuro, con puntas rotas y cafés y presencia moderada de epífitas. Los corales que se encontraron son pocos, siendo colonias aisladas de las especies *Madracis decactis*, *Siderastrea siderea* y *Dichocoenia stokesii*. Esta sección de los arrecifes artificiales se contempla que tenga 120 metros, a una profundidad que va de 4.3 m en la parte norte a 4.9 m en la parte sur.



**Figura 135.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E4 para el proyecto. Laja cubierta de algas (arriba izq.) y Pastizal mixto denso (arriba der.), y ejemplares de corales de la especie *Dichocoenia stokesii*. (abajo izq.) y *Siderastrea siderea* y una anémona del género *Condylactis* (abajo der.).

A continuación, se presenta una descripción de la biota marina observada en los recorridos realizados en los sitios programados para la colocación de estructuras.



#### IV.2.2.4.4.1 Escleractinios (corales duros)

##### IV.2.2.4.4.1.1 Distribución y composición de especies

Se registró un total de 6 especies, pertenecientes a 5 géneros y 5 familias. La especie que se presentó en todos los ambientes fue *Siderastrea radians* siendo abundante en cada uno de ellos. Las especies dominantes para cada ambiente fueron *Siderastrea sideraea* en E1, *Manicina aerolata* en E2, *Stephanocoenia michelinii* en E3 y *Porites astreoides* en E4.

**Tabla 39.** Lista de especies de corales escleractinios y estimaciones de abundancia en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera), con base en su cobertura relativa. Dominante (D) = > 20%; Abundante (A) = 10-20%; Común (C) = 5-10%; Escasa (E) = 1-5% y Rara (R) = <1%.

Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4
Astrocoeniinae	<i>Stephanocoenia</i>	<i>michelinii</i>			D	
Faviidae	<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>		D	A	*
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>				*
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>		*		D
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>	A	A	A	A
		<i>sideraea</i>	D			
<b>Total</b>			<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

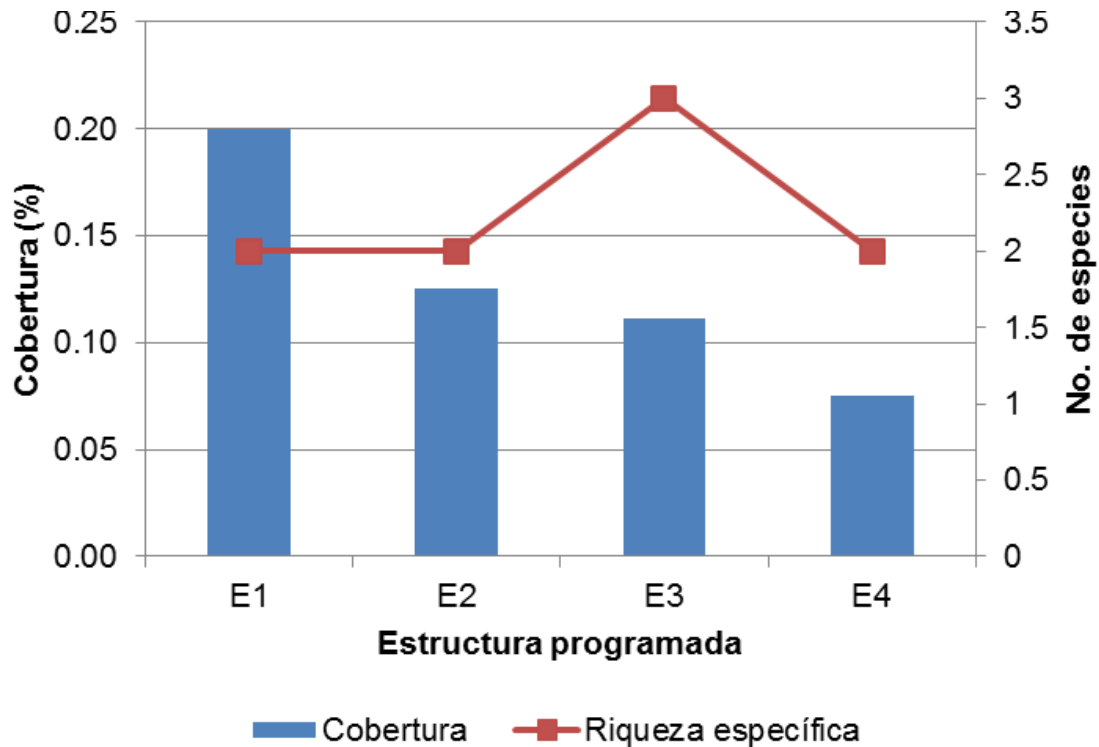




**Figura 136.** Especies de corales presentes en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera). Coral cerebro de la especie *Pseudopterogorgia clivosa* (arriba izq.), coral del género *Solenastrea* (arriba der.), *Siderastrea siderea* (abajo izq.) y *Dichocoenia stokesi* (abajo der.).

#### IV.2.2.4.1.2 Abundancia y riqueza específica

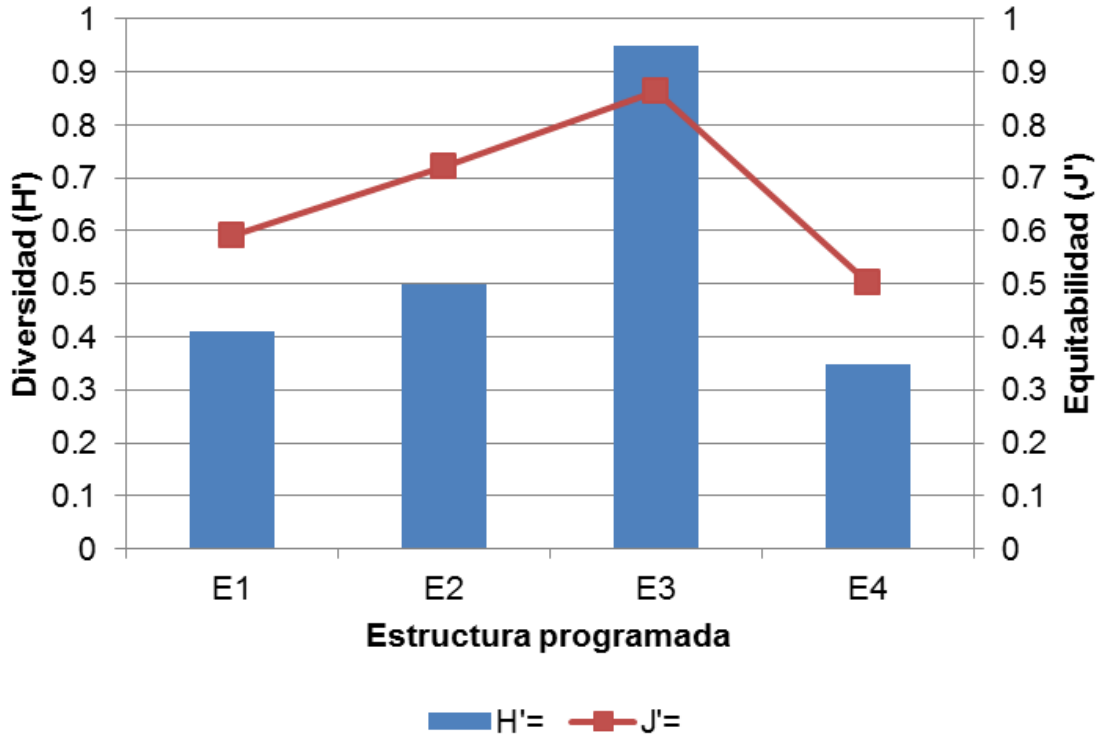
La mayor cobertura de tejido coralino se observó en el ambiente E1 con 0.2% y una riqueza de dos especies; siguiendo el ambiente E2 con 0.13% de cobertura de tejido coralino y dos especies presentes en el área de muestreo. En el ambiente E3 se registró la mayor riqueza con tres especies y una cobertura del 0.11%; finalmente el ambiente E4 obtuvo la menor cobertura con solo el 0.08% de tejido coralino y dos especies en el área muestreada.



**Figura 137.** Abundancia y Riqueza específica de corales escleractinios en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).

#### IV.2.2.4.4.1.3 Diversidad y equitabilidad

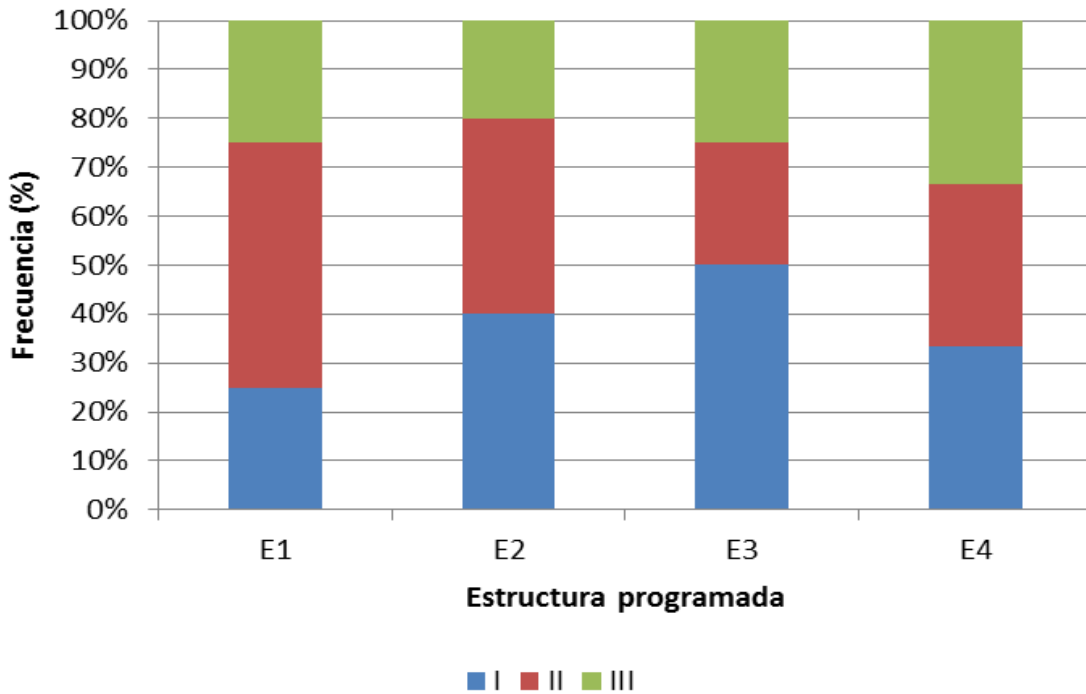
Los valores más altos de diversidad y equitabilidad se registraron en el ambiente E3 con  $H'=0.9502$  y  $J'=0.8649$ ; En el ambiente E2 los valores fueron de  $H'=0.5004$  y  $J'=0.7219$ ; seguido por el ambiente E1 donde la diversidad observada fue de  $H'=0.4101$  y  $J'=0.5916$ ; finalmente el ambiente E4 obtuvo los valores más bajos con  $H'=0.3488$  y  $J'=0.5032$ .



**Figura 138.** Diversidad de corales escleractinios en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. Índice de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J').

#### IV.2.2.4.4.1.4 Estructura de tallas

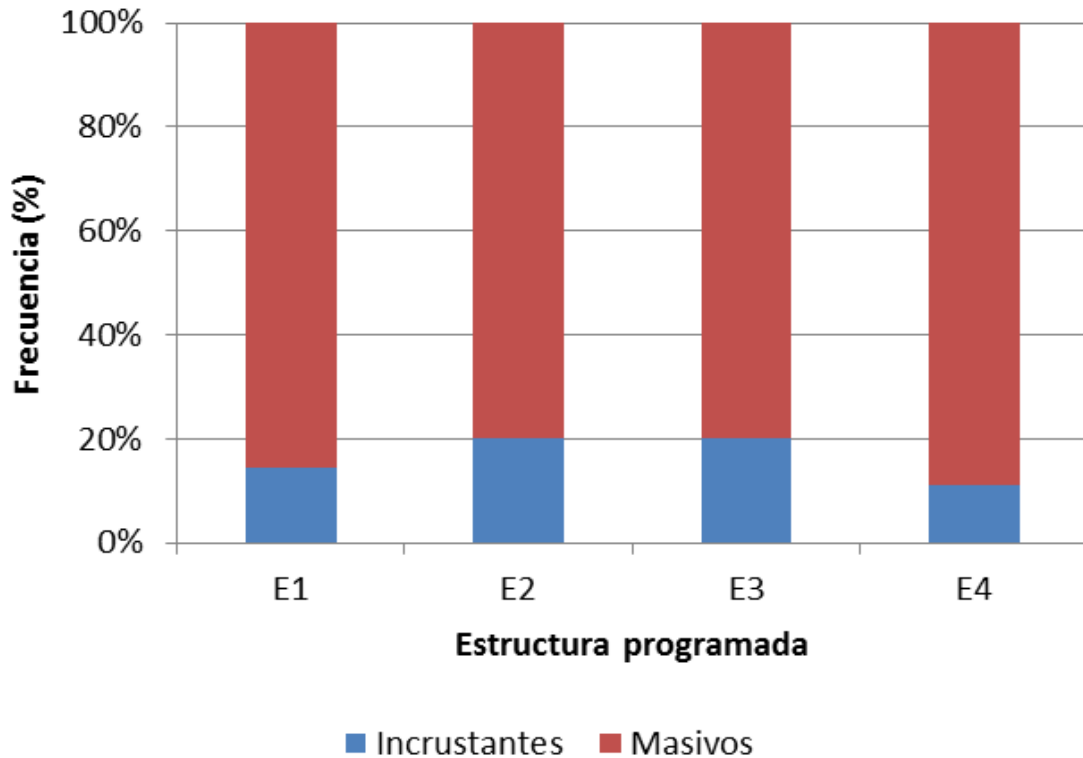
Solo se registraron colonias pequeñas y medianas englobadas en las categorías I, II y III; en todos los ambientes estuvieron representadas estas tres categorías. En el ambiente E1 dominaron las colonias categoría II con un aporte del 50%, las categorías I y III aportaron el 25% cada una; en el ambiente E2 las categorías I y II aportaron el 40% cada una al total de la frecuencia, mientras que la categoría III obtuvo el 20%. En el ambiente E3 el mayor aporte lo registró la categoría I con el 50%, dividiendo el resto del porcentaje en partes iguales entre la categoría II y III. Finalmente, en el ambiente E4, el porcentaje de frecuencia fue el mismo para las tres categorías.



**Figura 139.** Estructura de tallas para corales escleractinios en el área propuesta en un principio para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-40 cm, V > 40 cm de diámetro.

#### IV.2.2.4.1.5 Formas de crecimiento

Se presentaron dos formas de crecimiento, siendo los corales masivos los que aportaron el mayor porcentaje de frecuencia: En los ambientes E2 y E3 los corales con crecimiento masivo aportaron el 80% de frecuencia, mientras que los corales con crecimiento incrustante aportaron el 20% restante para cada ambiente. En el ambiente E1 los corales masivos registraron el 85.7% de frecuencia, y los corales incrustantes el 14.3%. En E4 los masivo presentaron el mayor aporte con 88.9% contra el 11.1% de los corales incrustantes.



**Figura 140.** Formas de crecimiento para corales escleractinios en el área programada en un principio para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. Dig = Digitiforme, Inc = Incrustante, Mas = Masiva, Ram = Ramificado.

#### IV.2.2.4.4.2 Gorgonáceos (corales blandos)

##### IV.2.2.4.4.2.1 Distribución y composición de especies

En el área de estudio se registró un total de 13 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 9 géneros y 3 familias. Se muestrearon un total de 392 individuos en los 4 sitios revisados para las estructuras programadas.

La especie dominante en el área fue *Pterogorgia citrina*, la cual se encontró distribuida en 3 de los 4 sitios del área de estudio, en donde había disponible sustrato duro para su fijación. En la lista de especies se muestra la importancia de cada una de acuerdo a una categorización basada en rangos de abundancia relativa.



**Tabla 40.** Lista de especies y abundancia relativa de gorgonáceos en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera). D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4
Briareidae	<i>Briareum</i>	<i>asbestinum</i>			R	E
Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i>	<i>mariae</i>		D	D	E
	<i>Pseudopterogorgia</i>	<i>acerosa</i>	C	R	E	E
		<i>americana</i>			E	E
	<i>Pterogorgia</i>	<i>anceps</i>	D	E		C
		<i>citrina</i>		D	D	C
<i>guadalupensis</i>		E				
Plexauridae	<i>Eunicea</i>	<i>laxispica</i>			R	E
		<i>mammosa</i>				D
	<i>Muricea</i>	<i>muricata</i>		R		C
	<i>Muriceopsis</i>	<i>flavida</i>				C
	<i>Plexaurella</i>	<i>nutans</i>		E	E	A
<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>		C	E	E	
<b>Total</b>			<b>3</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>12</b>

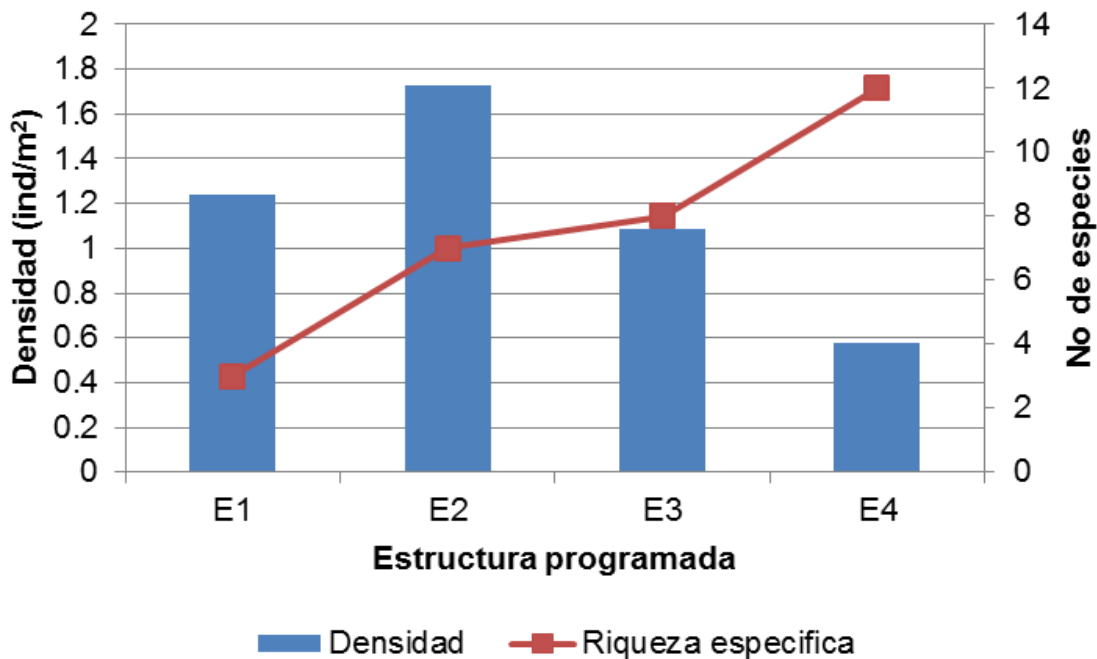


**Figura 141.** Especies de gorgonáceos presentes en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. *Pseudopterogorgia americana* (izq.) y *Plexaurella nutans* (der.).



#### IV.2.2.4.4.2 Abundancia y riqueza específica

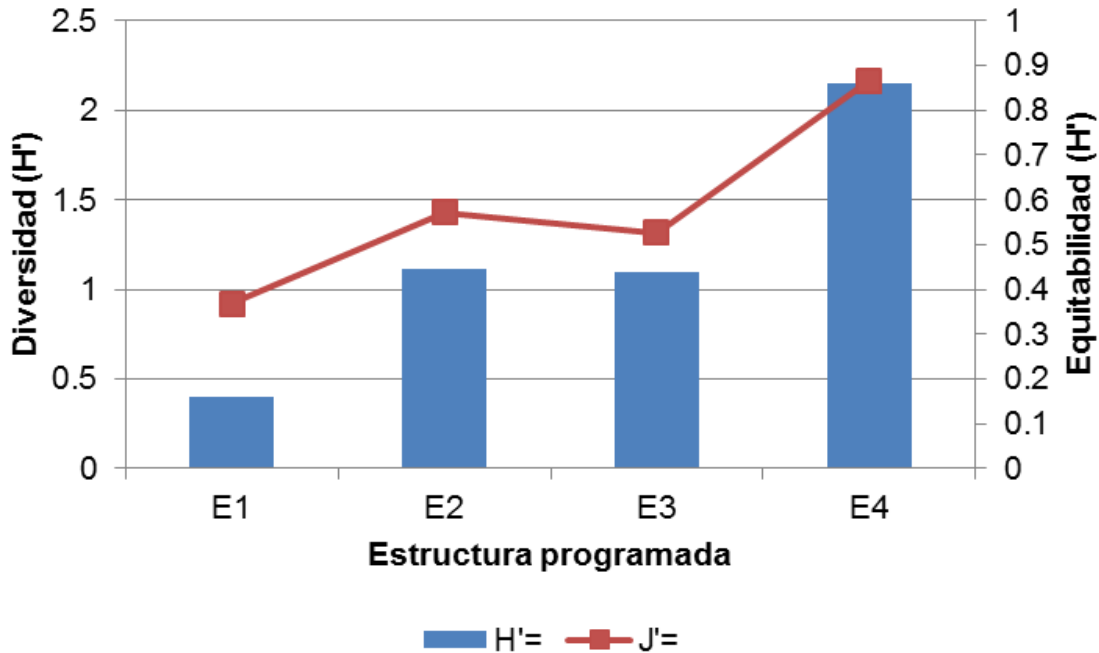
La densidad más alta se encontró en E2, con 1.7 ind/m<sup>2</sup>, mientras que los valores más bajos se ubicaron en el E4, con 0.5 ind/m<sup>2</sup>. En relación a la riqueza específica, se observó la cifra más alta en E4, con 12 especies. Por el contrario, los números más bajos se obtuvieron en E1, con 3 especies.



**Figura 142.** Abundancia y Riqueza específica de gorgonáceos en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).

#### IV.2.2.4.4.2.3 Diversidad y equitabilidad

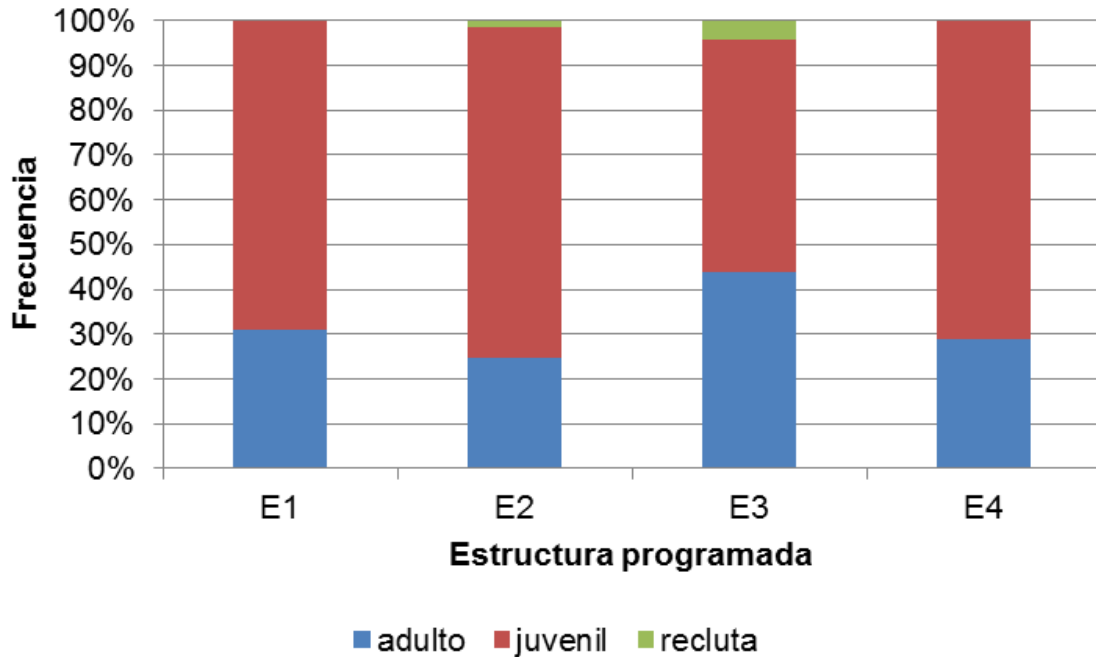
La mayor diversidad se encontró en E4, con un valor de 2.15. La estructura con la menor diversidad fue E1, con 0.4. En términos de equitabilidad, el valor más alto se encontró también en E4 con 0.86. Como en el caso de la diversidad, la cifra más baja se obtuvo en E1, con 0.3.



**Figura 143.** Diversidad de gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera). Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

#### IV.2.2.4.4.2.4 Estructura de tallas

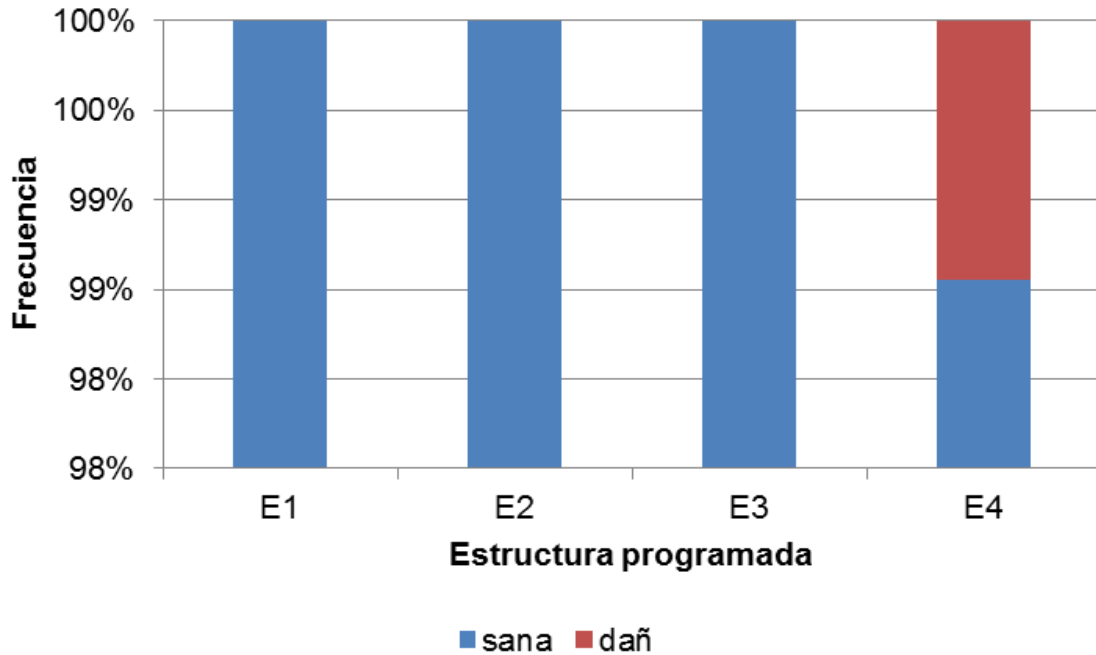
En los sitios revisados para las estructuras programadas en primera instancia, en todos los casos las tallas con mayor frecuencia fueron las de los individuos juveniles. Solamente se registraron reclutas en E3, aunque su frecuencia fue de solamente el 4%.



**Figura 144.** Frecuencia de estructura de tallas para gorgonáceos en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).

#### IV.2.2.4.4.2.5 Condiciones del organismo

Se encontraron colonias dañadas solamente en 1 de los 4 sitios programados para estructuras, siendo éste E1, con una frecuencia del 1.4%. Los daños registrados fueron el sobre crecimiento de algas.



**Figura 145.** Condición del organismo para gorgonáceos en el área programada en primera instancia para la ubicación de los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. Sana = colonia sin tejido dañado; Daño = presenta algún tipo de afectación.

#### IV.2.2.4.4.3 Ictiofauna (peces arrecifales)

##### IV.2.2.4.4.3.1 Distribución y composición de especies

Se registró un total de 19 especies, distribuidas en 16 géneros y 11 familias. *Sparisoma radians* fue la única especie que se presentó en todos los ambientes muestreados, siendo abundante en E3 y común en el resto de los ambientes. En el ambiente E1 la especie dominante fue *Haemulon flavolineatum* y el resto de las especies registradas fueron comunes; en el ambiente E2 las especies *Caranx ruber* y *Gerres cinereus* dominaron; en E3 la especie dominante fue *Haemulon sciurus* y *halochoeres bivittatus* fue abundante y dominó en el ambiente E4, junto con *H. flavolineatum*.

**Tabla 41.** Lista de especies y abundancia relativa de peces arrecifales en el área programada en primera instancia para la ubicación de los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera), con base en su abundancia relativa. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

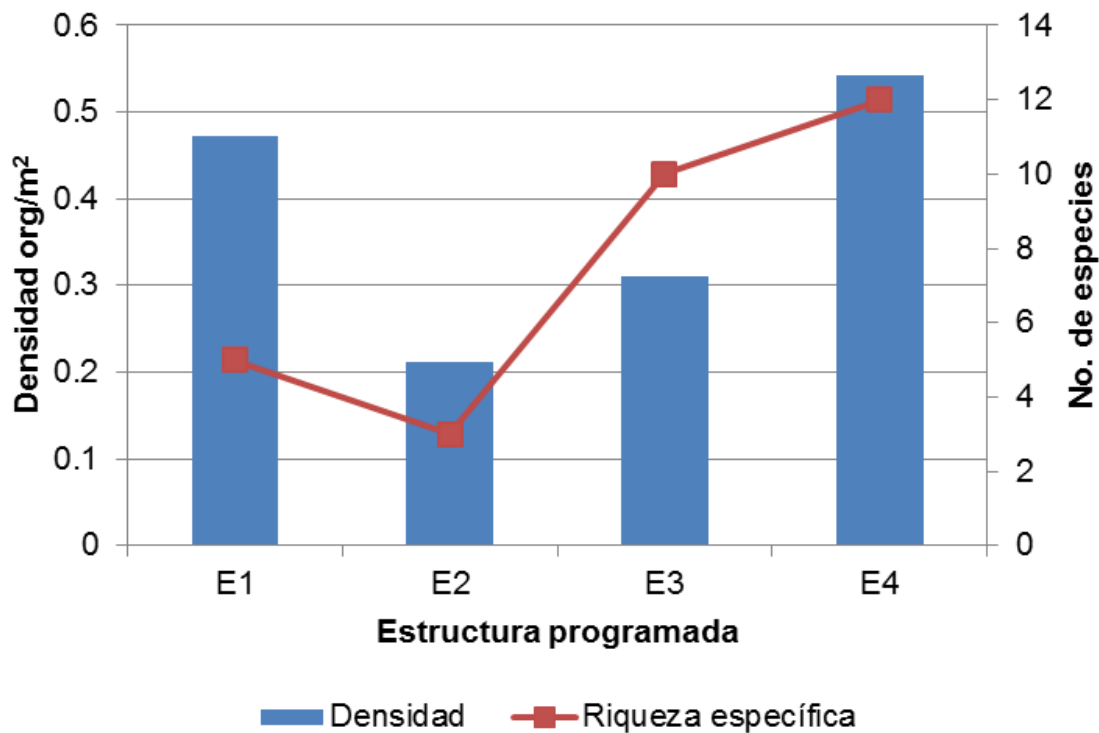
Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4
Carangidae	<i>Caranx</i>	<i>ruber</i>		D	E	
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>capistratus</i>	C		E	E
Gerreidae	<i>Gerres</i>	<i>cinereus</i>	C	D		
Haemulidae	<i>Anisotremus</i>	<i>surinamensis</i>				E
	<i>Haemulon</i>	<i>flavolineatum</i>	D			D
		<i>sciurus</i>			D	
Labridae	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>			A	D
		<i>poeyi</i>			C	E
	<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>				C
Pomacanthidae	<i>Holocanthus</i>	<i>ciliaris</i>			*	
	<i>Pomacanthus</i>	<i>paru</i>			C	
Pomacentridae	<i>Stegastes</i>	<i>variabilis</i>				E
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>				C
	<i>Scorpaena</i>	<i>plumieri</i>			E	
	<i>Sparisoma</i>	<i>radians</i>	C	C	A	C
		<i>viride</i>	C			E
Scianidae	<i>Pareques</i>	<i>acuminatus</i>			E	E
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>			E	E
Urobatidae	<i>Urobatis</i>	<i>jamaicensis</i>				*



**Figura 146.** Especies de peces en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).

#### IV.2.2.4.4.3.2 Abundancia y riqueza específica

El ambiente E4 registró la mayor densidad y riqueza de peces con 0.5 org/m<sup>2</sup> y 12 especies de peces; el ambiente E1 presento 0.47 org/m<sup>2</sup> con una riqueza de cinco especies. El ambiente E3 obtuvo la segunda mayor riqueza con 10 especies presentes y una densidad de 0.3 org/m<sup>2</sup>; mientras que los valores más bajos se observaron en el ambiente E2 con una densidad de 0.2 org/m<sup>2</sup> y solo tres especies presentes.



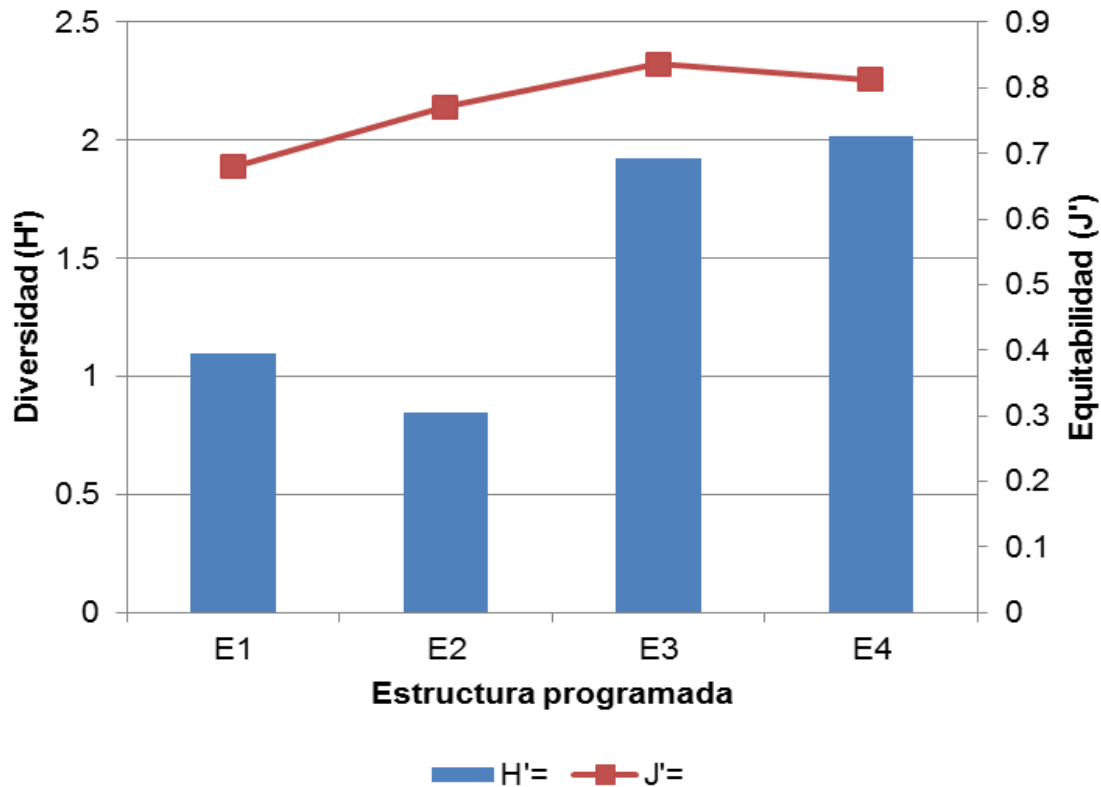
**Figura 147.** Abundancia y Riqueza específica de peces arrecifales en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).

#### IV.2.2.4.4.3.3 Diversidad y equitabilidad

El ambiente que registró la mayor diversidad fue E4 con un valor de  $H' = 2.0190$  y una equitabilidad de  $J' = 0.8125$ ; el ambiente E3 obtuvo el valor más alto de equitabilidad y el segundo mayor valor de diversidad con  $J' = 0.8361$  y  $H' = 1.9253$



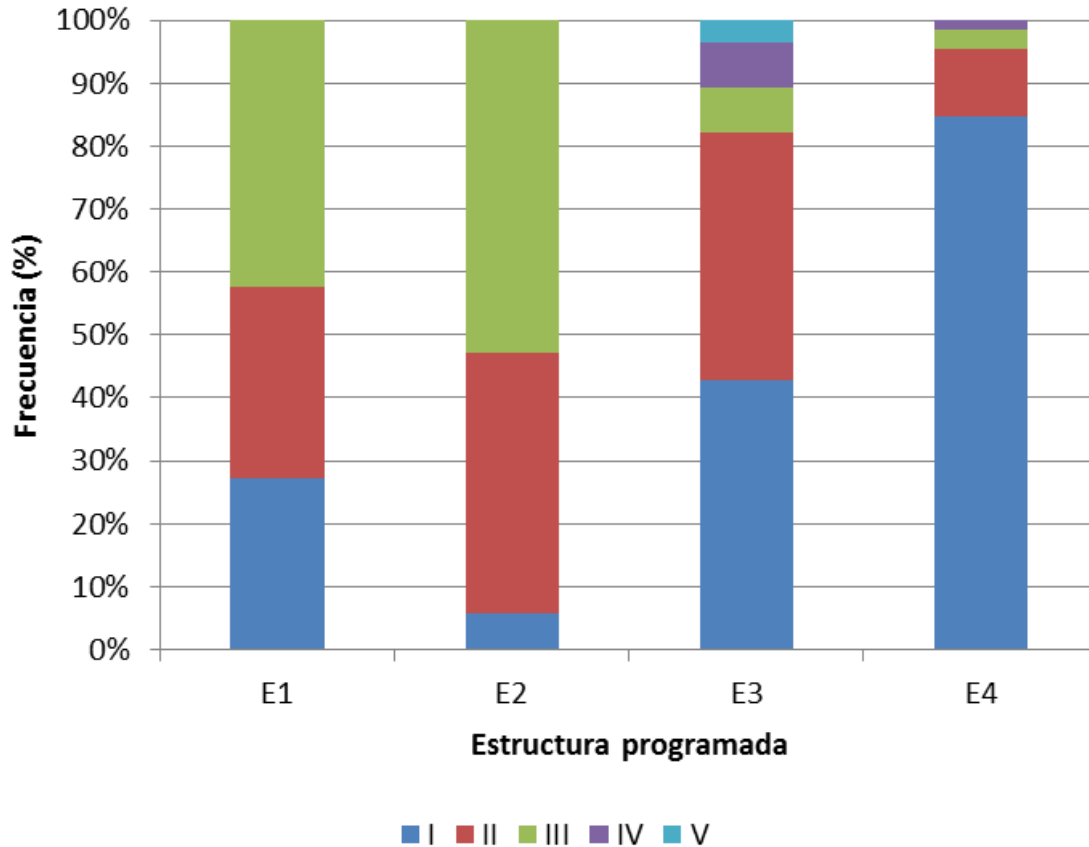
respectivamente. El ambiente de la E1 presento valores de  $H'=1.094$  y  $J'=0.6798$ , siendo la equitabilidad más baja para estos ambientes.



**Figura 148.** Diversidad de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera). Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

#### IV.2.2.4.4.3.4 Estructura de tallas

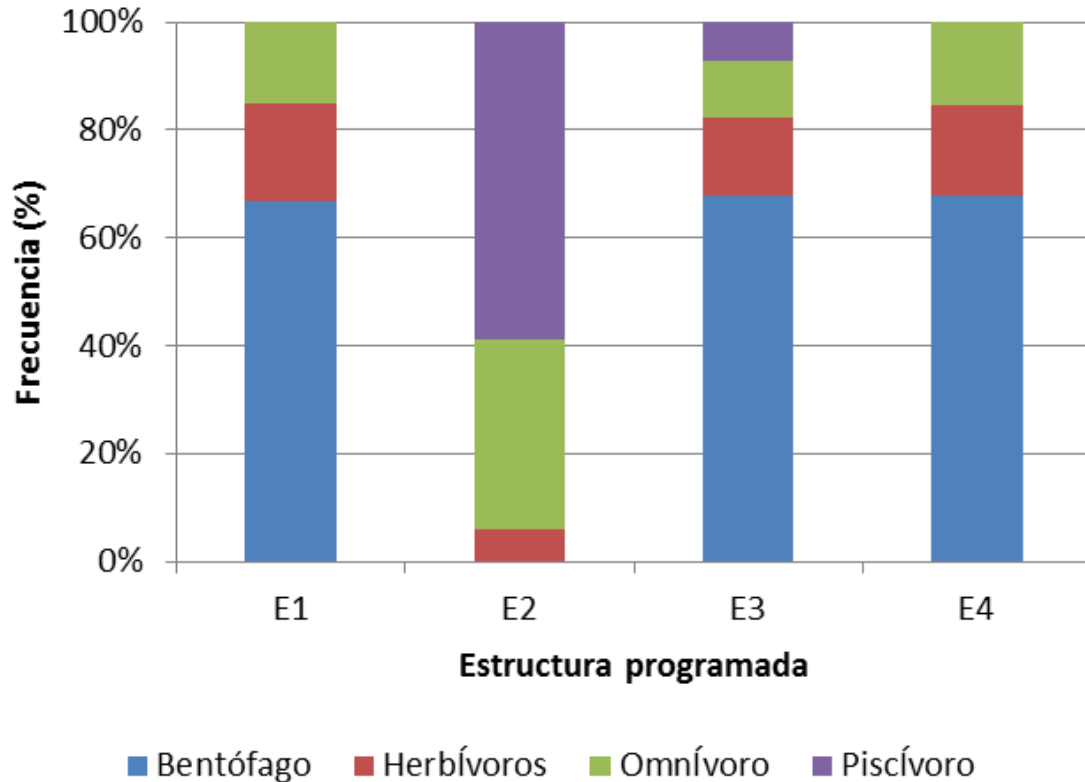
De las seis categorías de tamaños propuestas para este grupo, solo se registraron cinco categorías, donde el único ambiente que presentó este espectro completo fue E3, aportando la mayor frecuencia los peces pequeños categoría I y categoría II con un 42.9% y 39.3% respectivamente. El ambiente E4 registró cuatro categorías de peces, dominando los peces categoría I con más del 84% de frecuencia de observación. En los ambientes E1 y E2 los peces medianos categoría III fueron los dominantes, aportando para el primer ambiente un 42.4% y un aporte del 52.9% para el ambiente E2.



**Figura 149.** Estructura de tallas para peces arrecifales en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera). I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-30, V > 25 cm de longitud.

#### IV.2.2.4.4.3.5 Grupos funcionales

Se obtuvieron cuatro grupos tróficos donde el ambiente E3 presentó el espectro completo, dominando los peces bentófagos aportando el 67.9% de frecuencia, seguido por los peces herbívoros con un 14.3% de frecuencia. En los ambientes E1 y E4 solo se registraron tres grupos tróficos, donde también dominaron los peces bentófagos con un aporte del 66.7 % y 67.8% respectivamente, mientras que en el ambiente E2, tuvo ausencia de peces bentófagos y fueron dominantes los piscívoros, aportando un 58.8% de frecuencia.



**Figura 150.** Grupos tróficos para peces arrecifales en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. Bento = Bentófago, Herbi = Herbívoro, Ictio = Ictiófago, Omni = Omnívoro; Planc = Planctófago.

#### IV.2.2.4.4.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos)

##### IV.2.2.4.4.4.1 Distribución y composición de especies

Se registró un total de 36 especies, pertenecientes a 22 géneros y 5 divisiones. Los 4 sitios tienen una composición de algas similar, ya que pertenecen al mismo tipo de ambientes. La vegetación marina en estos sitios tiene una dominancia de pastos marinos de las 2 especies principales *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*, en asociación con algas verdes calcáreas de crecimiento erecto como son las de los géneros *Halimeda*, *Rhipocephalus*, *Rhipilia* y *Udotea*.

**Tabla 42.** Lista de especies de vegetación marina y estimaciones de abundancia en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera), con base en su cobertura relativa. Dominante (D) = > 20%; Abundante (A)= 10-20%; Común (C) = 5-10%; Escasa (E) = 1-5% y Rara (R) = < 1%.

División	Género	Especie	E1	E2	E3	E4
Chlorophyta	<i>Avrainvillea</i>	<i>asarifolia</i>			R	
	<i>Caulerpa</i>	<i>cupressoides</i>			R	
		<i>mexicana</i>	D	E		
		<i>paspalooides</i>			R	
		<i>prolifera</i>	A	R	E	E
	<i>Codium</i>	<i>repens</i>				E
	<i>Dasycladus</i>	<i>vermicularis</i>	E			
	<i>Dictyosphaeria</i>	<i>cavernosa</i>		R		R
	<i>Halimeda</i>	<i>discoidea</i>			E	E
		<i>gracilis</i>	D	E	R	E
		<i>incrassata</i>		C	E	E
		<i>opuntia</i>			R	
	<i>Penicillus</i>	<i>capitatus</i>				R
		<i>dumetosus</i>		R	E	E
	<i>Rhipilia</i>	<i>tomentosa</i>		D	A	
	<i>Rhipocephalus</i>	<i>foenix</i>				E
		<i>phoenix</i>			R	
	<i>Udotea</i>	<i>cyathiformis</i>				E
		<i>fibrosa</i>	C	E	R	E
		<i>occidentalis</i>	E			
<i>Valonia</i>	<i>macrophysa</i>	E	R	R		
Phaeophyta	<i>Dictyota</i>	<i>caribaea</i>			A	R
		<i>crenulata</i>				R
		<i>pulchella</i>			E	
	<i>Sargassum</i>	<i>fluitans</i>			R	
<i>natans</i>		E				
Rhodophyta	<i>Bryothamnion</i>	<i>triquetrum</i>	A			E
	<i>Ceramium</i>	<i>nitens</i>	C			
	<i>Dasya</i>	<i>ocellata</i>			E	D
	<i>Hydrolithon</i>	<i>boergueseni</i>		E		
	<i>Laurencia</i>	<i>poiteau</i>				R
	<i>Neogoniolithon</i>	<i>strictum</i>		C		
Magnoliophyta	<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>		E	D	D
	<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>	C	A	A	A
Cyanobacteria	<i>Lyngbya</i>	<i>sp.</i>			E	C

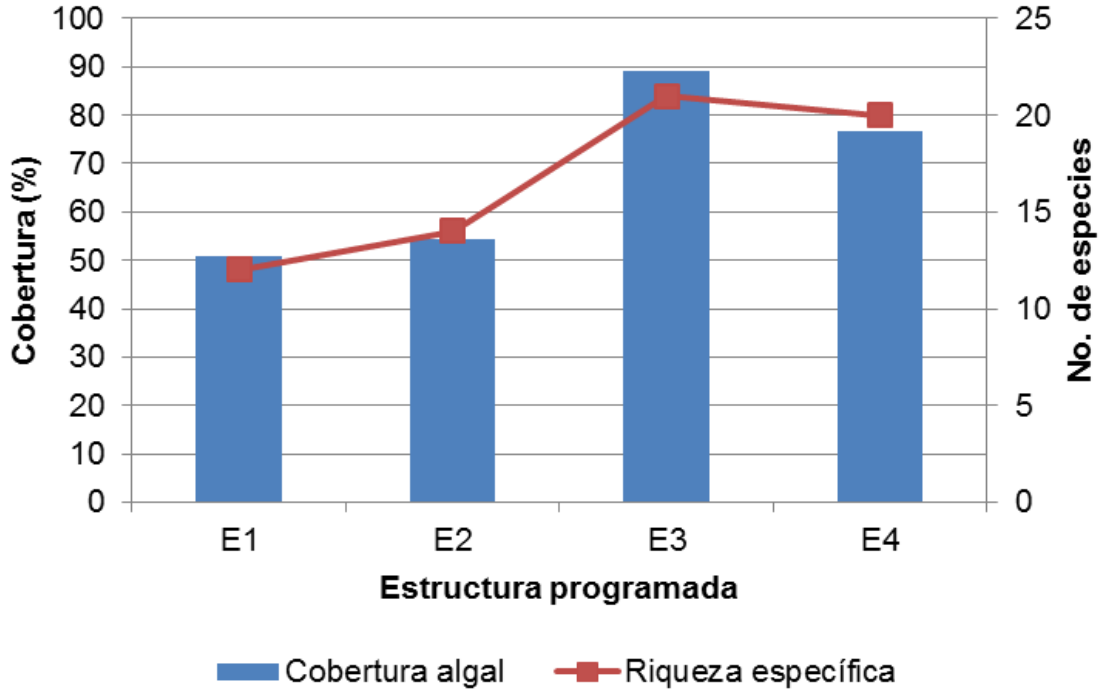
División	Género	Especie	E1	E2	E3	E4
Total			12	14	21	20



**Figura 151.** Especies de macroalgas presentes en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera). Parches del alga verde de los géneros *Caulerpa* (izq.) y *Udotea* (der.).

#### IV.2.2.4.4.2 Abundancia y riqueza específica

Los sitios en donde se tenía previsto colocar en primera instancia los arrecifes artificiales presenta una cobertura de algas relativamente alta en los sitios denominados E3 y E4 por la abundancia de pastos marinos, alcanzando coberturas del 89% y 76% respectivamente, y con un registro de 21 y 20 especies. Los sitios denominados E1 y E2 muestran una cobertura menor, alrededor del 50%, con 12 y 14 especies respectivamente.

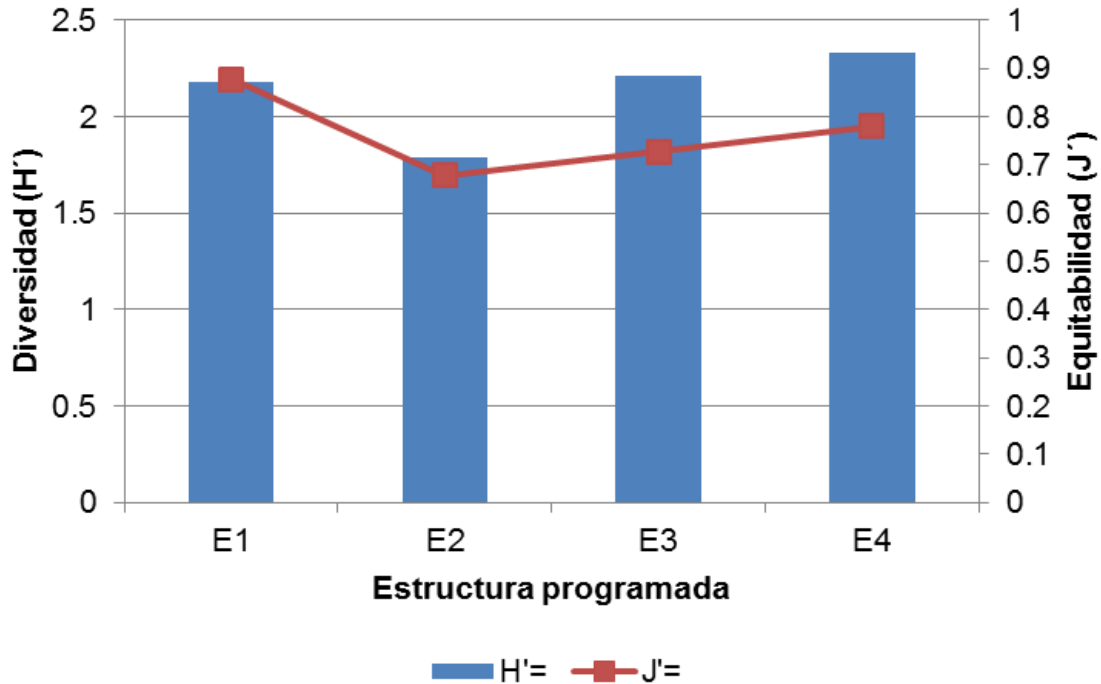


**Figura 152.** Abundancia y Riqueza específica de vegetación marina en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera).

#### IV.2.2.4.4.3 Diversidad y equitabilidad

La diversidad para los sitios donde se pondrían los arrecifes artificiales oscilan entre  $H'=1.8$  y  $2.3$ , siendo el valor más alto para el sitio E4, y más bajo para E2; con valores de equitabilidad muy similares en los 3 sitios estimando una  $J'$  entre  $0.73$  y  $0.88$ .

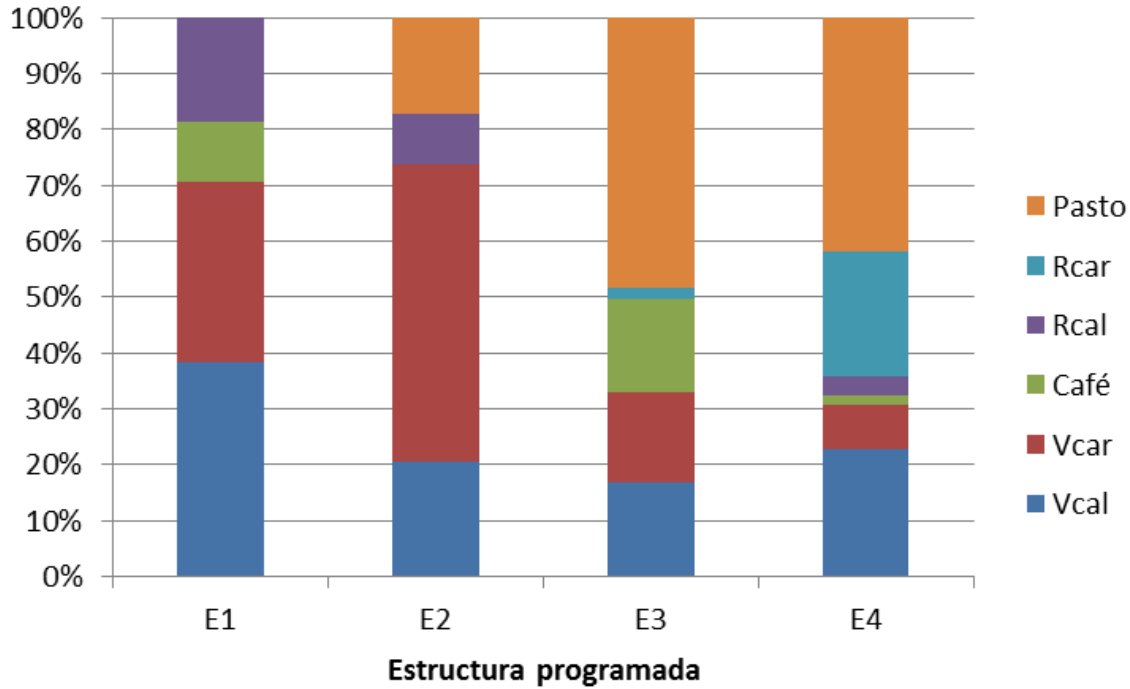




**Figura 153.** Diversidad de vegetación marina en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

#### IV.2.2.4.4.4 Grupos funcionales

La composición de los grupos funcionales de algas es parecida entre los sitios E3 y E4, debido a la dominancia de pastos marinos; mientras que en los sitios E1 y E2 la mayor abundancia es de algas verdes carnosas y calcáreas.



**Figura 154.** Grupos taxonómicos para vegetación en el área programada para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera). Vcar = Clorofitas carnosas, Vcal = Clorifitas calcáreas, Rcar = Rodofitas carnosas, Rcal = Rodofitas calcáreas, Café = Feofitas, Pasto = Magnoliofitas, Ciano = Cianobacterias.

#### IV.2.2.4.4.5 Invertebrados

##### IV.2.2.4.4.5.1 Distribución y composición de especies

En el área de estudio se registró un total de 6 grupos de invertebrados en los 4 sitios programados en primera instancia para la instalación de arrecifes artificiales (estructuras de protección costera), siendo estos anélidos, anémonas, coralimorfos, crustáceos, esponjas y moluscos. Se registró un total de 17 especies de invertebrados, pertenecientes a 16 géneros y 16 familias. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 8 especies presentes. La mayor cantidad de especies registradas fue 8 y se registró en E4.

**Tabla 43.** Presencia y abundancia relativa de otros invertebrados en el área programada en primera instancia para los arrecifes artificiales (o estructuras de protección costera) para el proyecto. Dominante (D) = > 20%; Abundante (A) = 10-20%; Común (C) = 5-10%; Escasa (E) = 1-5% y Rara (R) = < 1%. X= presencia de la especie en el sitio.

Grupo	Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4
Anélido	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>	X			
Anémona	Actiniidae	<i>Condylactis</i>	<i>gigantea</i>				X
	Stichodactylidae	<i>Stichodactyla</i>	<i>helianthus</i>		X		
Coralimorfo	Ricordeidae	<i>Ricordea</i>	<i>florida</i>			X	
Crustáceo	Diogenidae	<i>Paguristes</i>	<i>sp</i>		X		
	Palinuridae	<i>Panulirus</i>	<i>argus</i>				X
Esponja	Clionidae	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>	X	X	X	
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>				X
	Irciniidae	<i>Ircinia</i>	<i>felix</i>			X	
			<i>strobilina</i>		X		X
	Niphatidae	<i>Amphimedon</i>	<i>compressa</i>				X
	Pseudoceratinidae	<i>Pseudoceratina</i>	<i>crassa</i>		X		
	Tedaniidae	<i>Tedania</i>	<i>ignis</i>			X	
Thorectidae	<i>Hyrtios</i>	<i>violaceus</i>				X	
Molusco	Cerithiidae	<i>Cerithium</i>	<i>sp</i>		X		
	Ranellidae	<i>Charonia</i>	<i>variegata</i>				X
	Strombidae	<i>Lobatus</i>	<i>gigas</i>			X	X
<b>Total</b>				<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>8</b>



**Figura 155.** Especies de invertebrados presentes en el área programada en primera instancia para la instalación de los arrecifes artificiales (o estructuras de protección

costera) para el proyecto. Juvenil de caracol rosado de la especie *Lobatus gigas* (izq.), anémona de la especie *Condylactis gigantea* (der.).

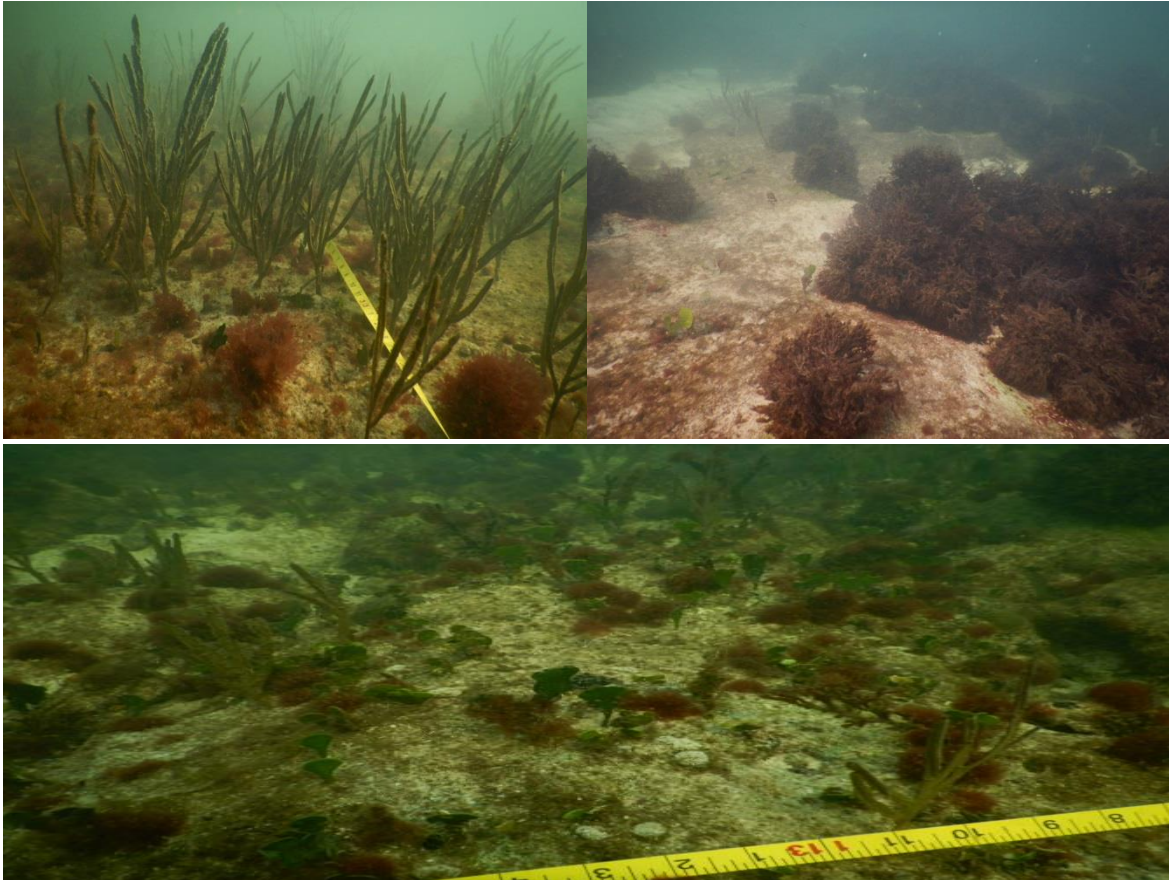
#### IV.2.2.4.4.2 Temporada de secas (18 de enero y 9 de febrero de 2019)

Todos los **arrecifes artificiales** (estructuras de protección costera) **se reubicaron hacia un sitio más somero** con la intención de evitar la pradera de pastos marinos que existe en este sitio. La mayor parte de la ruta trazada para estas estructuras corresponde a un ambiente de Laja con algas y de laja con sedimentos.

A continuación, se presentan detalles para cada estructura.

#### Estructura 1 (E-1)

Como ya se mencionó, la Estructura 1 E-1 se reubicó y se consideró añadir otro elemento más a la estructura, que va desde el centro de la misma hasta la línea de playa. Esta estructura es la que se encuentra más al Norte, en un sustrato de laja con sedimento, siendo una capa muy delgada de arena fina, y presencia de algunas rocas cubiertas de algas sobre el sustrato de laja. El sitio presenta una cobertura de algas menor que en el primer muestreo, siendo del 30%, y una composición de especies diferente, con una dominancia de algas rojas de las especies *Acanthophora spicifera* y *Dasya ocellata*, seguido de algas verdes de los géneros *Halimeda* y *Avrainvillea*. Se registraron algunos ejemplares de gorgonáceos, con dominancia de la especie *Pterogorgia anceps* de tamaño mediano, y algunos ejemplares de colonias pequeñas y dispersas de coral de la especie *Siderastrea siderea*. Estas colonias de coral en este muestreo se observaron de color muy oscuro, con una incidencia de mortalidad reciente del tejido mayor al 50%, lo que puede ser un efecto de los lixiviados generados por el arribazón excesivo del alga marina Sargazo que se evidenció en el muestreo anterior. La visibilidad del sitio en este muestreo fue buena, teniendo una visibilidad mayor a los 5 m. Esta estructura tiene programada una distancia de 70 metros, y la ruta sobre la cual se pretende instalar va de 2.3 metros en el norte, hasta 1.4 metros en su parte sur.



**Figura 156.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E-1. Laja con sedimento y algas, con presencia de gorgonáceos (arriba izq.), dominancia de algas rojas del género *Acanthophora* (arriba der.), Rocas cubiertas de algas verdes (abajo).

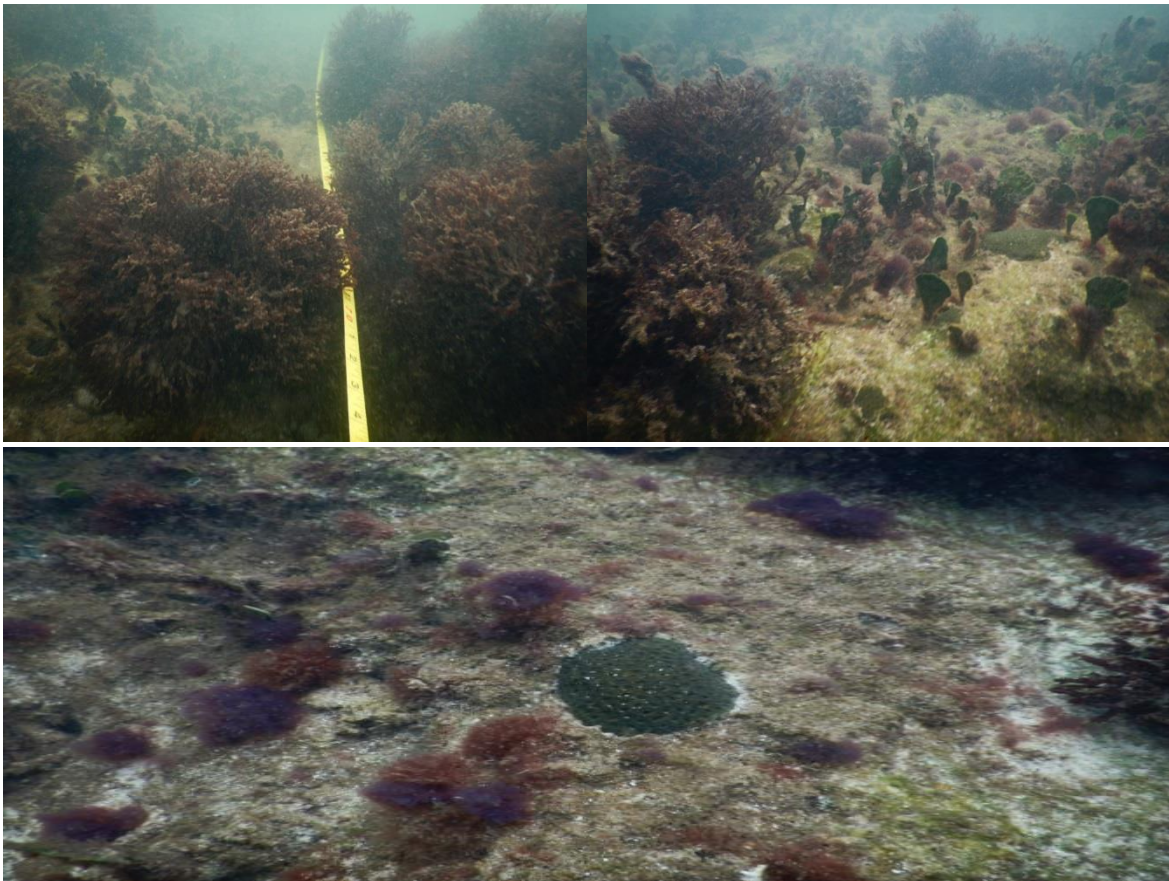
### Estructura 1a (E-1a)

Como parte de la Estructura 1 se consideró añadir la Estructura 1a (E1a) que va desde la parte media de la E1 hasta la línea costa. El tipo de ambiente en el que se propone colocar esta estructura es el mismo que existe para la E1, con un sustrato de laja con sedimento, y presencia de rocas cubiertas de algas sobre el sustrato de laja. La composición de algas es similar, con dominancia de algas rojas de los de las especies *Acanthophora spicifera* y *Dasya ocellata*, seguido de algas verdes calcáreas de crecimiento erecto de los géneros *Halimeda* y *Avrainvillea*. Los gorgonáceos en esta sección son menos abundantes y más pequeños, siendo



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

dominante la especie *Pterogorgia anceps*. La presencia de corales también ocurre con ejemplares de colonias pequeñas y dispersas de coral de la especie *Siderastrea siderea*. La visibilidad del sitio en este muestreo fue buena, teniendo una visibilidad mayor a los 5 m, reduciendo a 3 m en la parte más somera ya sobre la línea de costa. Esta estructura tiene programada una distancia de 50 metros, y la ruta sobre la cual se pretende instalar va de 1.7 metros en su parte profunda, hasta 0 metros al llegar a la línea de costa.



**Figura 157.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E-1a. Laja con sedimento y algas, con dominancia de algas rojas del género *Acanthophora* (arriba der.), presencia de algas verdes de crecimiento erecto (arriba der), y colonia de coral de la especie *Siderastrea siderea* (abajo).



### Estructura 2 (E-2)

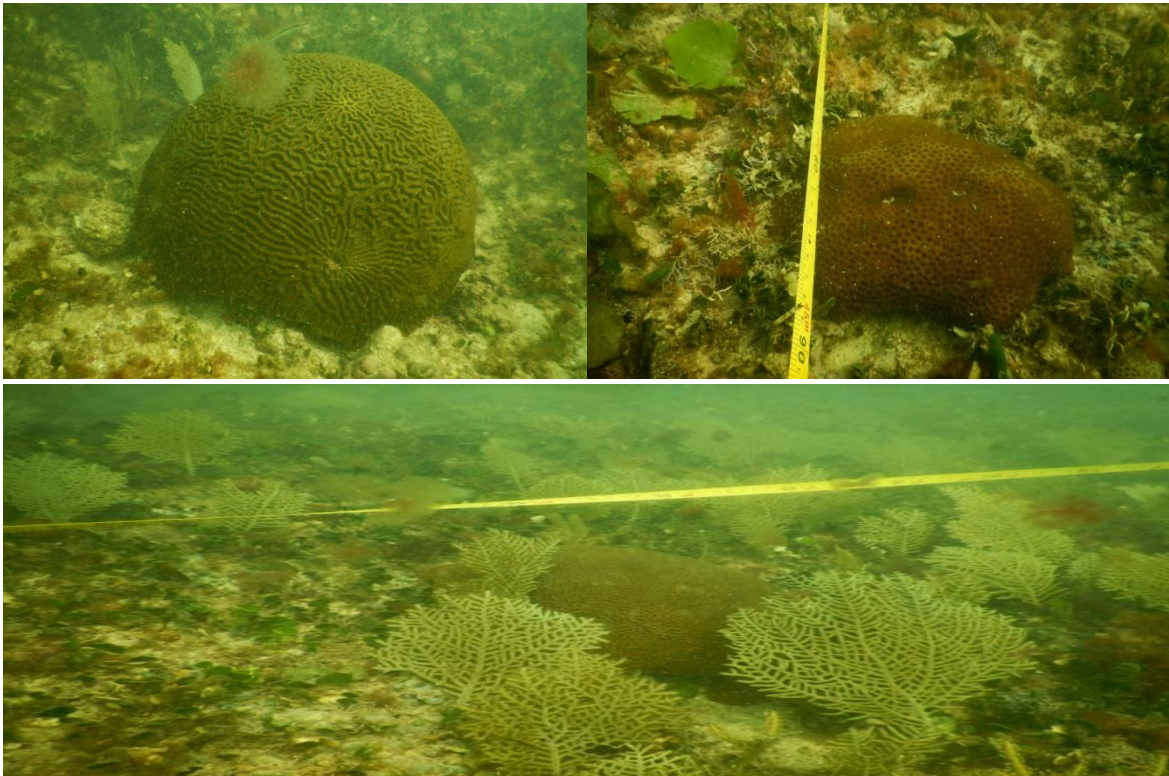
Como ya se mencionó, la estructura E2 se reubicó hacia un sitio más somero. La Estructura 2 presenta una cobertura vegetal del 58%, con una dominancia del alga roja de la especie *Amphiroa rigida*, seguida del alga verde carnosa *Rhipilia tomentosa*, y el alga verde calcárea de la especie *Halimeda tuna*. Los gorgonáceos en este sitio son colonias de tamaño mediano, principalmente ramificadas de los géneros *Plexaurella*, *Eunicea* y *Pseudoplexaura*. Los corales son más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de varios tamaños, la mayoría de forma incrustante, pero algunas masivas, muchas de las cuales presentaron daño por sedimentación y mortalidad parcial, y también se registraron varias colonias de tamaño mediano del coral cerebro de la especie *Pseudodiploria clivosa*. Esta estructura tiene programada una distancia de 70 metros, y la ruta sobre la cual se pretende instalar presentó una profundidad de 2.0 m en el norte, hasta alcanzar 2.2 m en su parte sur.



**Figura 158.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E-2. Laja cubierta de algas y presencia de corales de tamaño mediano (arriba izq.) y colonias pequeñas de la especie *Siderastrea siderea* (arriba der.), y ejemplares de gorgonáceos (abajo).

### Estructura 3 (E-3)

La Estructura 3, se reubicó sobre un sustrato de laja con algas, en donde la vegetación marina presenta una cobertura del 65% con una asociación de especies muy parecida a la de la E-2, siendo las especies dominantes el alga roja de la especie *Amphiroa rigida* y el alga verde carnososa *Rhipilia tomentosa*, seguida de varias especies de algas verde calcárea del género *Halimeda*. Los gorgonáceos en este sitio son colonias de tamaño mediano, con mayor abundancia los abanicos de mar del género *Gorgonia*. Los corales son mucho más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de tamaño mediano (30 cm de diámetro aprox.) y presencia de algunas colonias de coral cerebro del género *Pseudodiploria*. Esta sección de los arrecifes artificiales se contempla que tenga 90 metros, a una profundidad que va de 1.9 m en la parte norte a 2.6 m en la parte sur.



**Figura 159.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E-3. Colonia de coral cerebro de la especie *Pseudodiploria strigosa* (arriba izq.) y *Siderastrea siderea* (arriba der.), parche de Pastizal mixto (abajo izq.) y abundancia de abanicos de mar del género *Gorgonia* (abajo der.)



### Estructura 4 (E-4)

La Estructura 4 se reubicó a una parte más somera sobre un sustrato de laja con alta presencia de algas, estimando una cobertura vegetal del 78.7%. La variedad de especies que componen la vegetación marina es alta, siendo dominantes las algas rojas del género *Dasya* y la especie *Acanthophora spicifera*; también es importante la presencia de algas verdes de crecimiento erecto como son las de los géneros *Halimeda*, *Penicillus* y *Rhipilia*. La presencia de corales es escasa en este sitio, teniendo solamente algunas colonias pequeñas de la especie *Siderastrea siderea*. Esta sección de las estructuras de protección se contempla que tenga 120 metros, a una profundidad que va de 3.8 m en la parte norte a 4.5 m en la parte sur.



**Figura 160.** Tipo de ambiente en el área propuesta para instalar el arrecife artificial E-4. Laja cubierta de algas (izq.) y presencia de colonias de gorgonáceos (der.).

A continuación, se presenta una descripción de la biota marina observada en los recorridos realizados en los sitios programados para la colocación de estructuras:

#### IV.2.2.4.4.2.1 Escleractinios (corales duros)

##### IV.2.2.4.4.2.1.1 Distribución y composición de especies

Se registró un total de siete especies, distribuidas en cinco géneros y cinco familias. La especie con mayor distribución, teniendo presencia en los cinco ambientes, es *Siderastrea radicans*. Así mismo, fue dominante en todos ellos. En los ambientes E1 y

En el transecto E1a solo se registró *S. radians* dentro del transecto de muestreo, teniendo presencia *Manicina areolata* y *Porites astreoides* en el primer ambiente mencionado. En el ambiente E2, las especies *Manicina areolata* y *Siderastrea sideraea* fueron abundantes.

**Tabla 44.** Listado de especies de corales escleractinios y estimaciones de abundancia en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto, con base en su cobertura relativa. Dominante (D) =>20%; Abundante (A)=10-20%; Común (C)= 5-10%; Escasa (E)= 1-5% y Rara (R) = <1%.

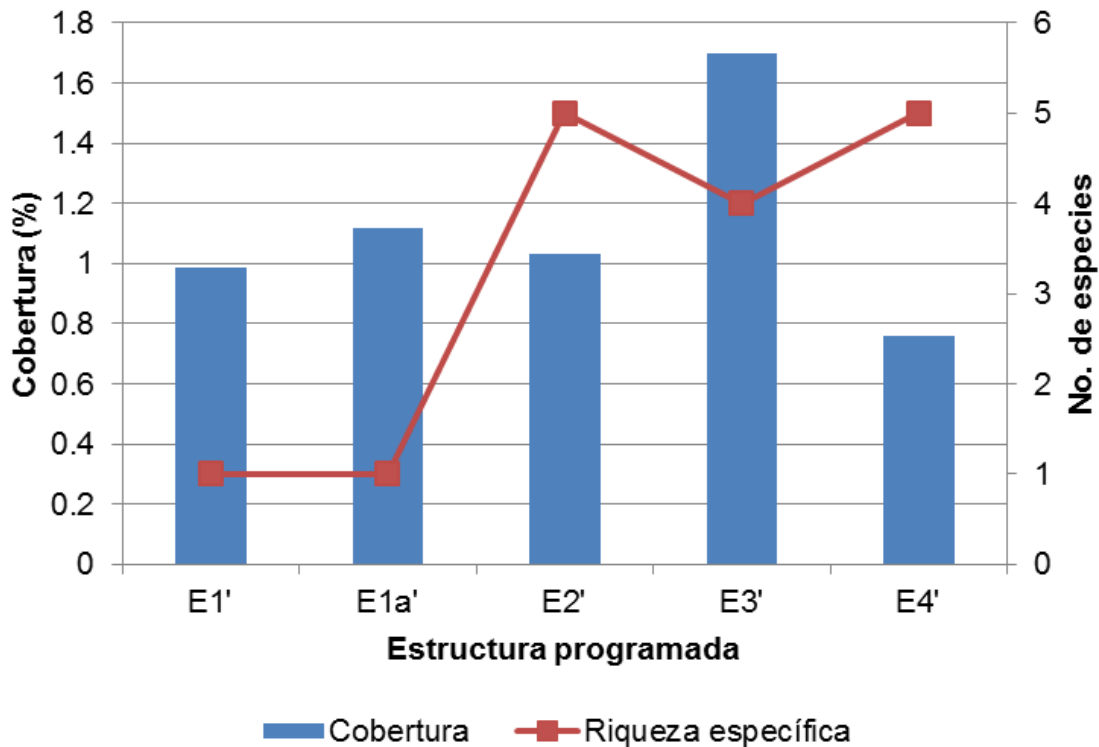
Familia	Género	Especie	E1	E1a	E2	E3	E4
Faviidae	<i>Pseudodiploria</i>	<i>strigosa</i>			*	A	
Mussidae	<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>	*		A	C	C
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>	*				A
		<i>porites</i>			C		
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>	D	D	D	D	D
		<i>sideraea</i>			A	D	D
HIDROCORLAES							
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>albicornis</i>			C		C
<b>Total</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>



**Figura 161.** Especies de corales presentes en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Coral cerebro de la especie *Pseudopteroergorgia strigosa* (izq), *Pseudopteroergorgia strigosa* (centro), *Siderastrea siderea* (der).

IV.2.2.4.4.2.1.2 Abundancia y riqueza específica

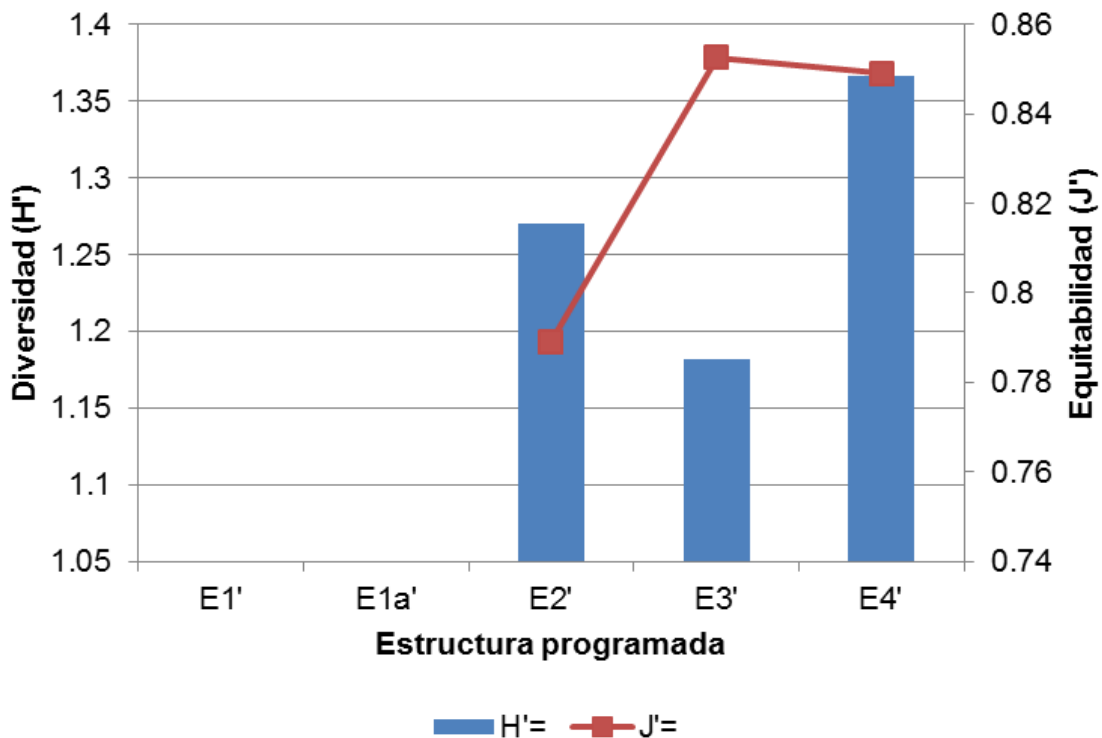
El ambiente E3 registró la mayor cobertura de tejido coralino con 1.7% y una riqueza de cuatro especies. Los ambientes E2 y E4 presentaron una misma riqueza con cinco especies de corales, y una cobertura de tejido del 1.12% y 0.76% respectivamente. Los ambientes E1 y E1a registraron la menor riqueza, ambas con solo una especie en el transecto de muestreo, y una cobertura del 0.99% para E1 y 1.12% en E1a.



**Figura 162.** Abundancia y Riqueza específica de corales escleractinios en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto.

IV.2.2.4.4.2.1.3 Diversidad y Equitabilidad

El mayor índice de diversidad se registró en el ambiente E4 con un valor de  $H'=1.3667$  y una equitabilidad de  $J'=0.8492$ . El índice de equitabilidad más alto se observó en el ambiente E3 con una  $J=0.8527$ , así como la diversidad más baja con un valor de  $H'=1.1821$ , mientras que el ambiente E2 registró valores de  $H'=1.2699$  y  $J'=0.7891$ . En los ambientes E1 y E1a no se obtuvieron datos suficientes para calcular estos índices.

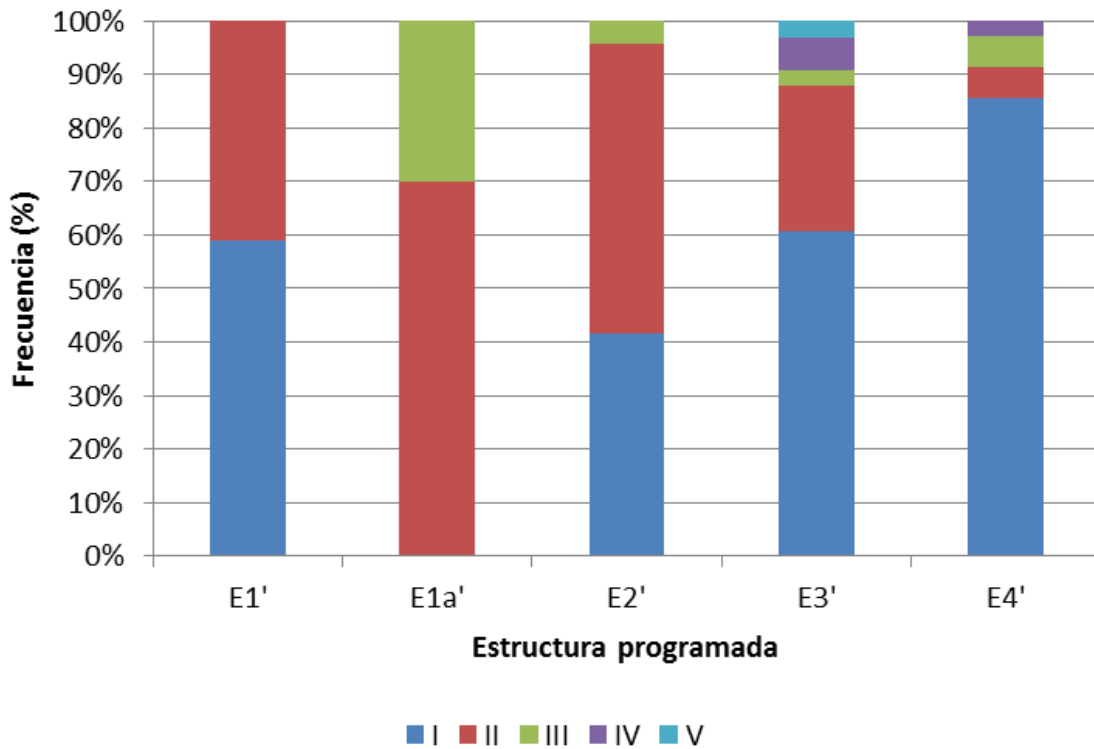


**Figura 163.** Diversidad de corales escleractinios en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).



**IV.2.2.4.4.2.1.4 Estructura de tallas**

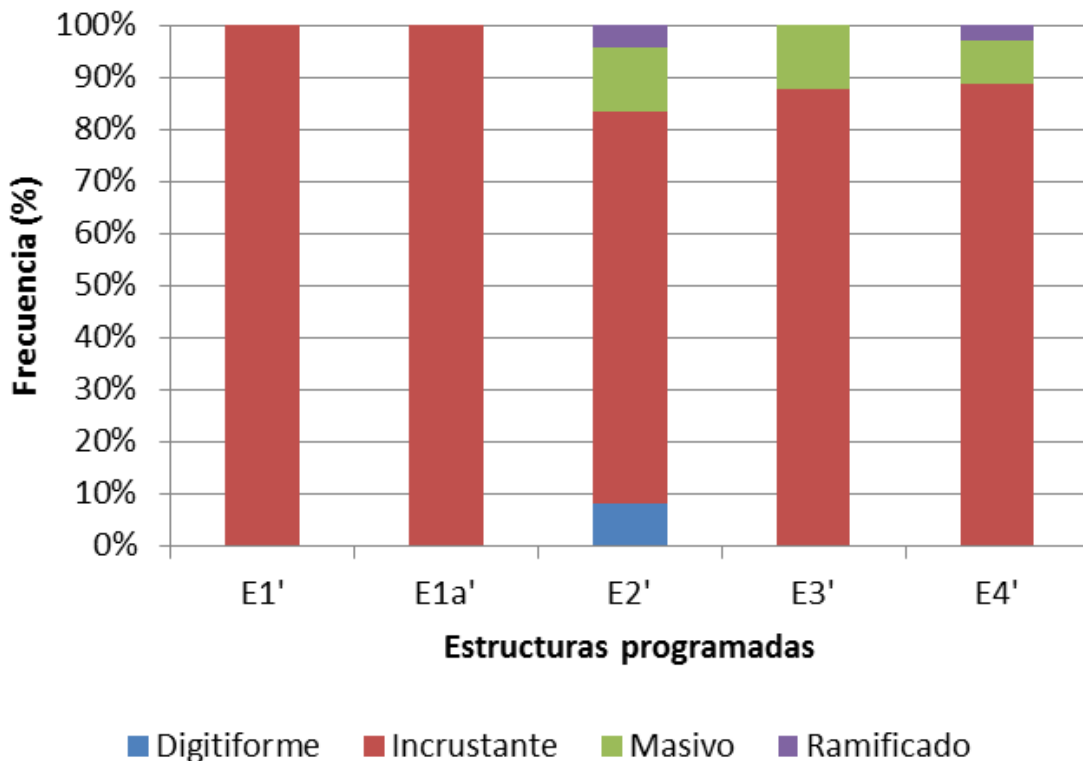
Se registraron cinco categorías de tallas, siendo el ambiente E3 el único que presentó el espectro completo, donde dominaron las colonias pequeñas categoría I con una frecuencia del 60.6%. el ambiente E4 registró cuatro categorías de tamaños, dominando las colonias categoría uno con más del 85% de frecuencia. En el ambiente E2, se obtuvieron las tres primeras categorías, dominando las colonias medianas categoría II, aportando el 54.2% a la frecuencia de observación. En los ambientes E1 y E1a se presentaron solo dos categorías, en el primer ambiente mencionado se registraron colonias categoría I y II, dominando la categoría I con el 59.1% de frecuencia; mientras que en el ambiente E1a, las categorías registradas fueron las colonias medianas, englobadas en las categorías II y III, dominando la primera con un aporte del 70% de frecuencia.



**Figura 164.** Estructura de tallas para corales escleractinios en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. I <5 cm, II=5-10 cm, III=10-20 cm, IV=20-40 cm, V> 40 cm de diámetro.

**IV.2.2.4.4.2.1.5 Formas de crecimiento**

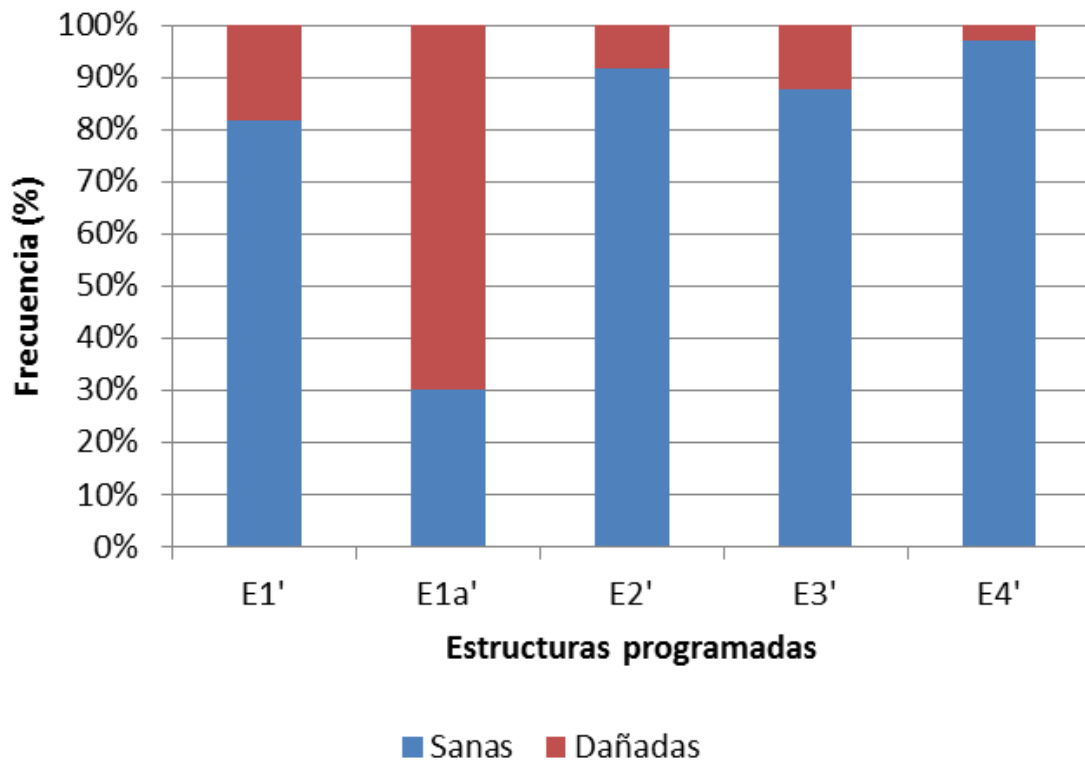
Se registraron cuatro formas de crecimiento; siendo el ambiente E2 el único que presentó el espectro completo, donde dominaron los corales incrustantes, con una frecuencia de registro del 75%, seguido por los corales de crecimiento masivo con un aporte del 12.5%. El ambiente E4 obtuvo tres formas de crecimiento coralino, aportando la mayor frecuencia los corales incrustantes con un 88.6%. En el ambiente E3 se registraron corales incrustantes y masivos, con una frecuencia del 87.9% y 12.1% respectivamente; mientras que, en E1 y E1a solo se observaron corales incrustantes.



**Figura 165.** Formas de crecimiento para corales escleractinios en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Dig = Digitiforme, Inc = Incrustante, Mas = Masiva, Ram = Ramificado.

**IV.2.2.4.4.2.1.6 Condición del organismo**

En todos los ambientes se observaron colonias con áreas de tejido muerto, la mayoría de ellas con muerte reciente y cubierta por sedimento. La mayor frecuencia de colonias con alguna afectación se registró en el ambiente E1a, con un 70% de colonias dañadas. El ambiente E1 presentó un 18.2% de colonias con afectación; seguido por el ambiente E3 con 12.1% de colonias con daños en el tejido. Mientras que, los ambientes E2 y E4 presentaron 8.3% y 2.9% de colonias con mortalidad parcial de tejido.



**Figura 166.** Condición de los organismos para corales escleractinios en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto.

#### IV.2.2.4.4.2.2 Gorgonáceos (corales blandos)

##### IV.2.2.4.4.2.2.1 Distribución y composición de especies

En el área de estudio se registró un total de 17 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 10 géneros y 2 familias. Se muestrearon un total de 960 individuos en los 5 sitios programados para la colocación de estructuras dentro del área de estudio. La especie dominante en varios de los ambientes fue *Pterogorgia citrina*, la cual se encontró distribuida en 4 de los mismos, en donde había disponible sustrato duro para su fijación. En el listado de especies se muestra la importancia de cada una de las ellas, de acuerdo a una categorización basada en rangos de abundancia relativa.

**Tabla 45.** Listado de especies y abundancia relativa de gorgonáceos en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).

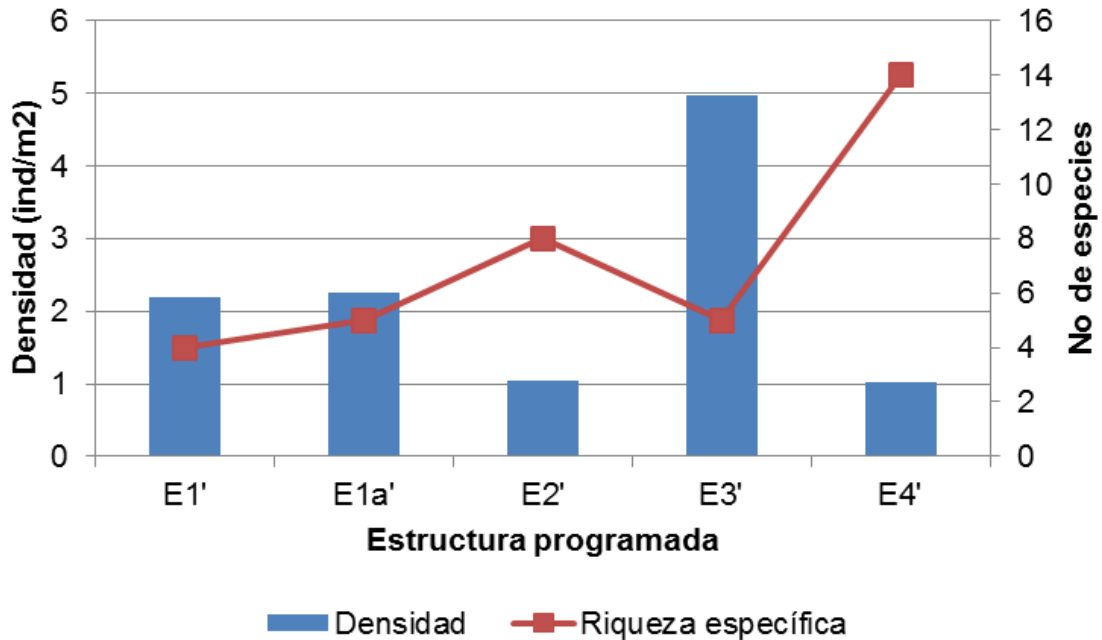
Familia	Género	Especie	E1	E1a	E2	E3	E4
Gorgoniidae	Gorgonia	<i>flabellum</i>				R	
		<i>mariae</i>			D	D	E
	Pseudopterogorgia	<i>americana</i>	R			E	E
	Pterogorgia	<i>anceps</i>	D	D	E	E	E
		<i>citrina</i>		C	D	D	A
		<i>guadalupensis</i>	A	D			
Plexauridae	Eunicea	<i>calyculata</i>					C
		<i>laxispica</i>					E
		<i>mammosa</i>					E
		<i>tourneforti</i>			E	R	C
	Muricea	<i>muricata</i>			E		R
	Muriceopsis	<i>flavida</i>	E	C			C
	Plexaura	<i>flexuosa</i>			E		R
		<i>homomalla</i>					E
	Plexaurella	<i>nutans</i>			E	E	D
	Pseudoplexaura	<i>porosa</i>			C	R	E
Pterogorgia	<i>citrina</i>		E				
<b>Total</b>			<b>4</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>14</b>



**Figura 167.** Especies de gorgonáceos presentes en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. *Pseudopterogorgia americana* (izq.) *Gorgonia marie* (centro) y *Plexaurella nutans* (centro) y *Pterogorgia anceps* (der.).

#### IV.2.2.4.4.2.2 Abundancia y riqueza específica

La densidad más alta se encontró en la estructura E3, con 4.9 ind/m<sup>2</sup>, mientras que los valores más bajos se ubicaron en E4, con 1.025 ind/m<sup>2</sup>. En relación a la riqueza específica, la estructura E4 fue la más alta, con 14 especies. Por el contrario, el número más bajo se obtuvieron en E1, con 1 especie.

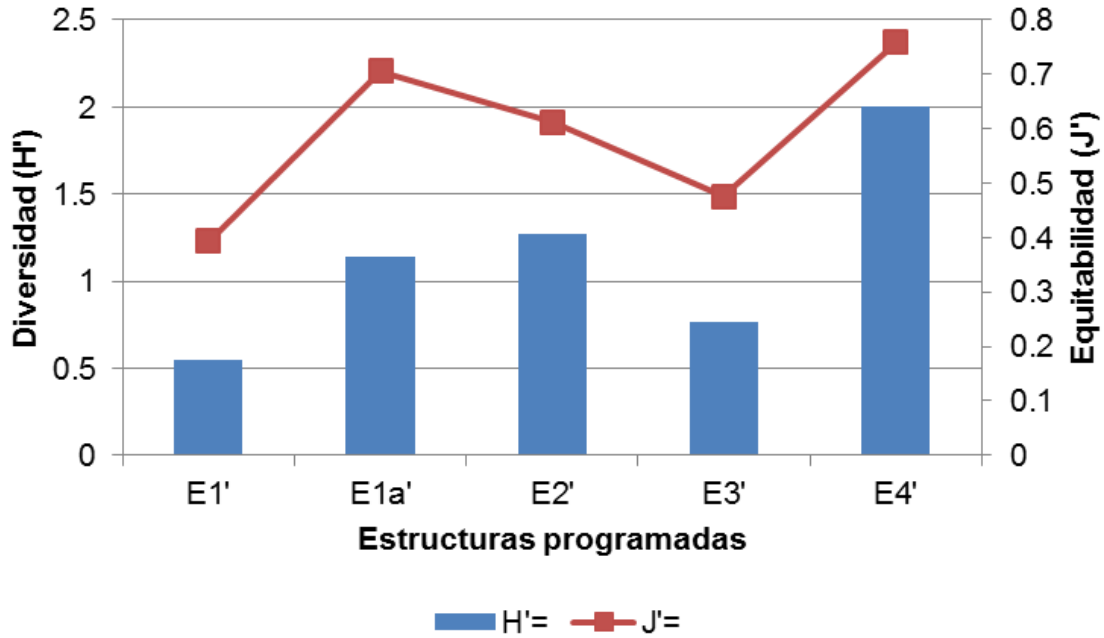


**Figura 168.** Abundancia y Riqueza específica de gorgonáceos en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto.

#### IV.2.2.4.4.2.3 Diversidad y Equitabilidad

La mayor diversidad se encontró en E4, con un valor de 2.0. La estructura con la menor diversidad se encontró en E1, con 0.5. En términos de equitabilidad, el valor más alto se encontró también en E4, con 0.75. Como en el caso de la diversidad, la cifra más baja se obtuvo en E1, con 0.39.

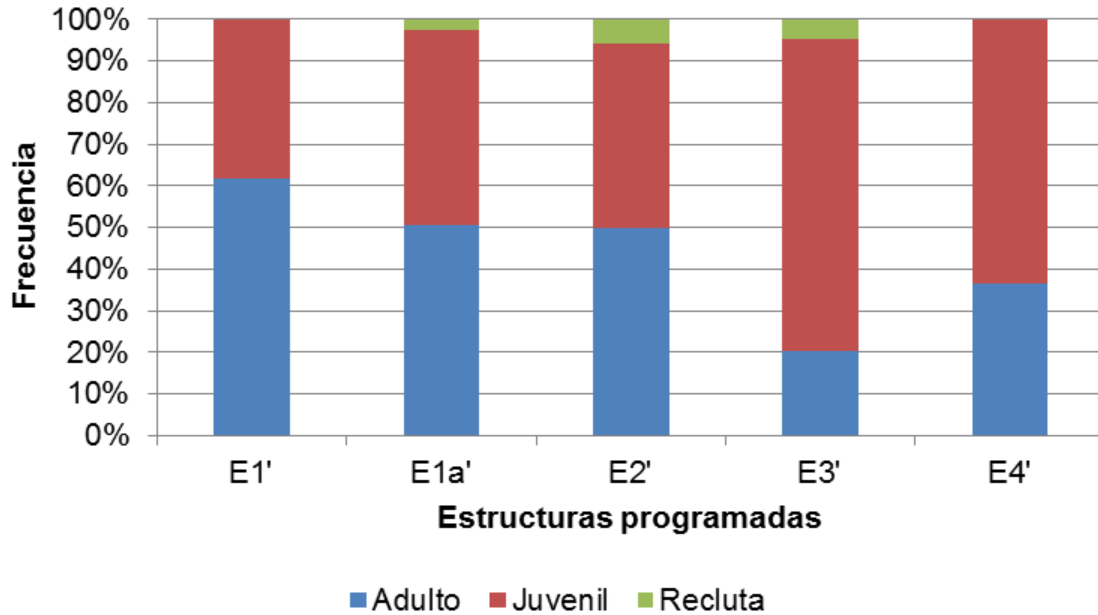




**Figura 169.** Diversidad de gorgonáceos en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

#### IV.2.2.4.4.2.2.4 Estructura de tallas

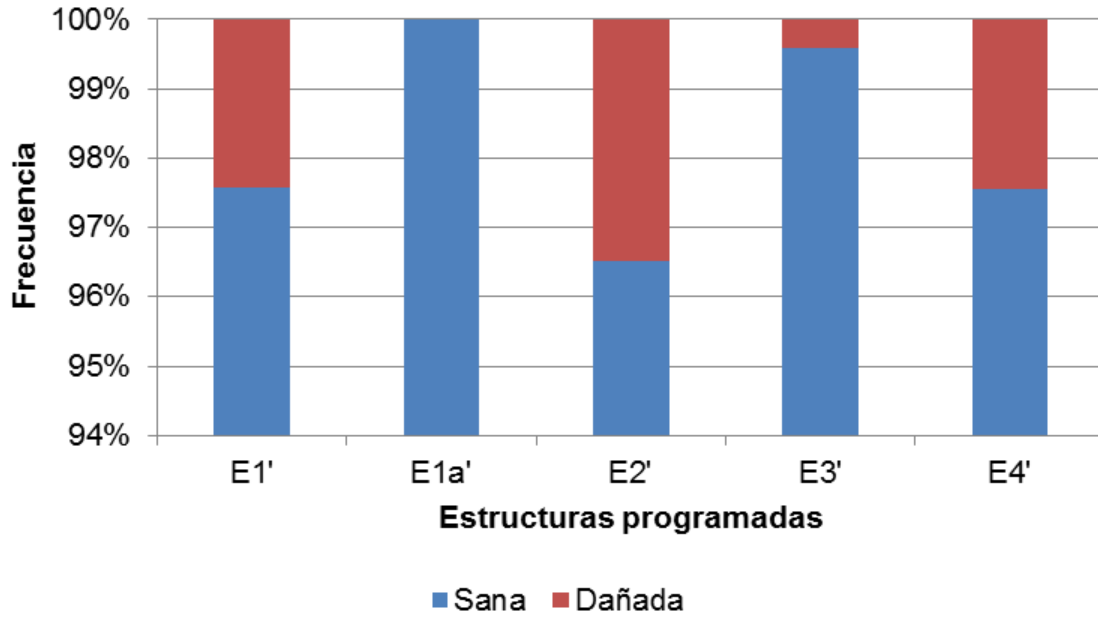
Se registraron gorgonáceos en los 5 sitios revisados, habiendo diferentes proporciones entre adultos, juveniles y reclutas. Solamente en 3 de esos sitios se registraron reclutas y su frecuencia más alta fue inferior al 6%.



**Figura 170.** Frecuencia de estructura de tallas para gorgonáceos en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto.

#### IV.2.2.4.4.2.2.5 Condiciones del organismo

En 4 de los 5 sitios programados para la colocación de estructuras, se registraron organismos con daños, aunque en ningún caso la frecuencia de los mismos llegó a alcanzar el 4%. Los daños registrados consistieron principalmente en el sobrecrecimiento de algas.



**Figura 171.** Condición del organismo para gorgonáceos en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Sana = colonia sin tejido dañado, Daño = presenta algún tipo de afectación.

#### IV.2.2.4.4.2.3 Ictiofauna (peces arrecifales)

##### IV.2.2.4.4.2.3.1 Distribución y composición de especies

Se registraron 10 especies de peces, distribuidas en nueve géneros y ocho familias. La especie *Halichoeres bivittatus* fue la de mayor distribución, observándose en todos los ambientes; así mismo, fue la especie dominante en todos ellos. En el ambiente la especie *Ocyurus chrysurus* fue abundante y solo fue registrada para este ambiente. En A3' la especie *Haemulon plumierii* fue abundante y la especies *Stegastes adustus* fue exclusiva para este sitio con un número escaso de individuos. En el ambiente E2 las especies *Halichoeres poeyi* y *Canthigaster rostrata* compartieron abundancia, finalmente en los ambientes E1 y Ea' solo se presentó esta especie.

**Tabla 46.** Listado de especies y abundancia relativa de peces arrecifales en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto, con base en su abundancia relativa. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).

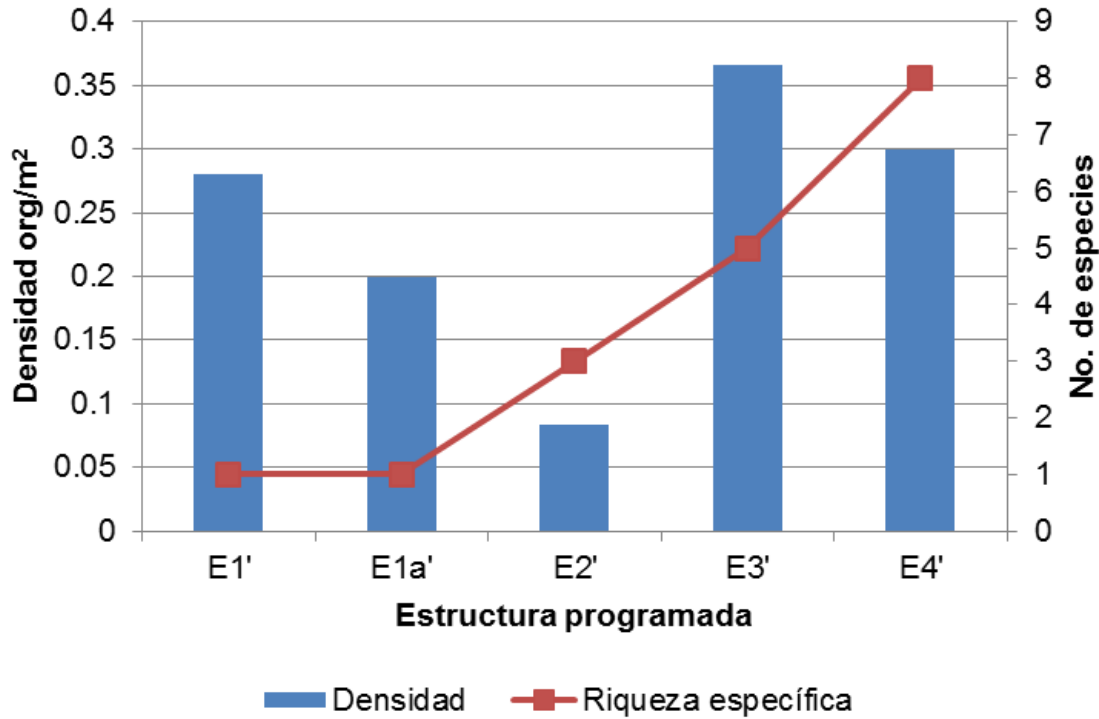
Familia	Género	Especie	E1	E1a	E2	E3	E4
Acanthuridae	<i>Acantarus</i>	<i>chirurgus</i>					C
Haemulidae	<i>Haemulon</i>	<i>plumierii</i>				A	C
Labridae	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>	D	D	D	D	D
		<i>poeyi</i>			A	C	C
Lutjanidae	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>					A
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>					E
Pomacentridae	<i>Stegastes</i>	<i>adustus</i>				E	
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>					C
	<i>Scarus</i>	<i>iseri</i>					C
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>			A	E	
<b>Total</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>



**Figura 172.** Especies de peces en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto.

#### **IV.2.2.4.4.2.3.2 Abundancia y riqueza específica**

El ambiente E3 registró la mayor densidad de peces con 0.4 ind/m<sup>2</sup>, y una riqueza de cinco especies. La más alta riqueza se presentó en el ambiente E4 con ocho especies y una densidad de 0.3 ind/m<sup>2</sup>. El ambiente con menor densidad fue E2 con solo 0.1 ind/m<sup>2</sup> y una riqueza de tres especies. Mientras que en los ambientes E1 y E1a la riqueza estuvo representada por una sola especie, con una densidad de 0.3 ind/m<sup>2</sup> y 0.2 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente.

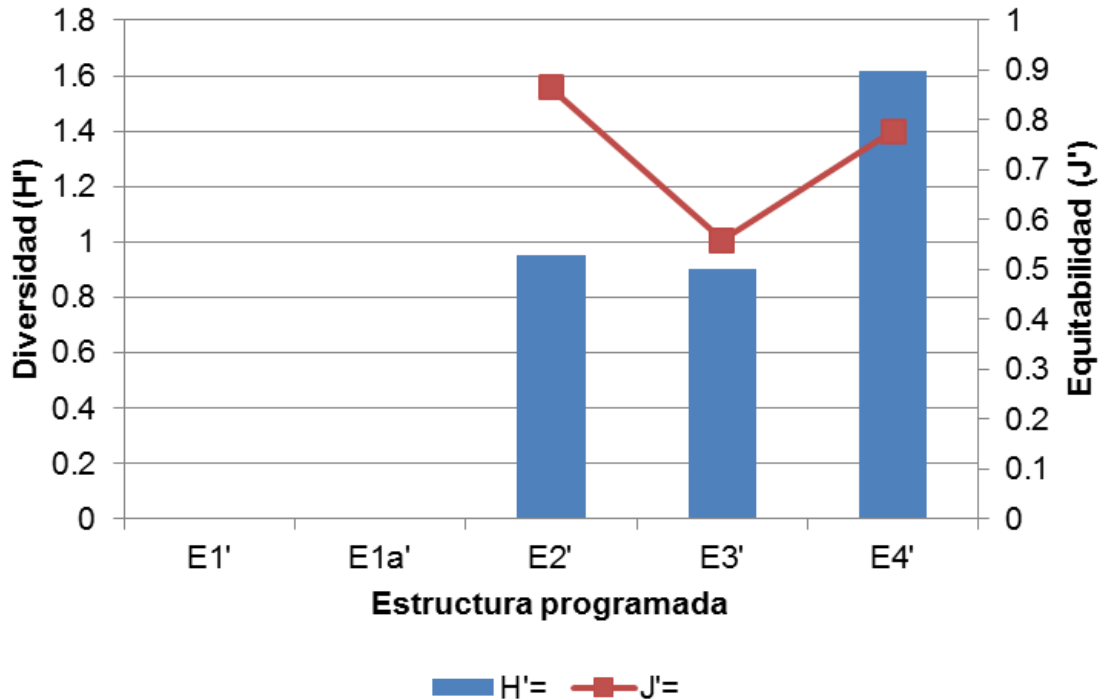


**Figura 173.** Abundancia y Riqueza específica de peces arrecifales en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto.

#### IV.2.2.4.4.2.3.3 Diversidad y Equitabilidad

El índice más alto de diversidad se obtuvo en el ambiente E4 con un valor de  $H'=1.6161$  y una equitabilidad de  $J'=0.7772$ . La mayor equitabilidad se obtuvo en el ambiente E2 con un valor de  $J'=0.8649$  y una diversidad de  $H'=0.9502$ . El ambiente E3 registró los valores más bajos de estos índices con una diversidad de  $H'=0.8993$  y una equitabilidad de  $J'=0.558$ . Mientras que los ambientes E1 y E1a no presentaron suficientes datos para poder determinar estos índices.

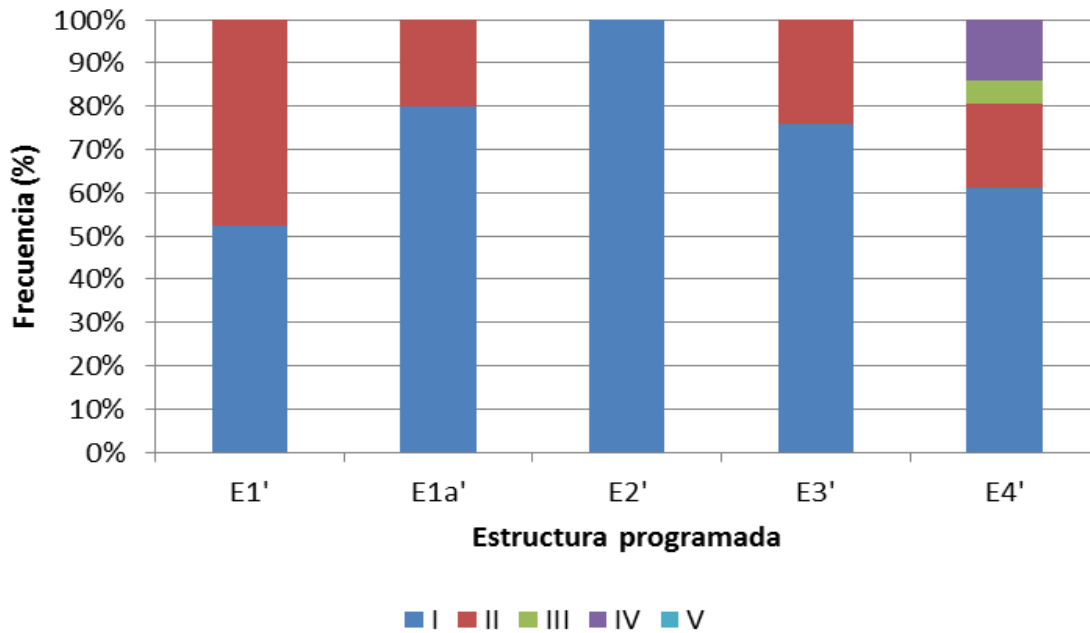




**Figura 174.** Diversidad de peces arrecifales en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Índice de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J').

#### IV.2.2.4.4.2.3.4 Estructura de tallas

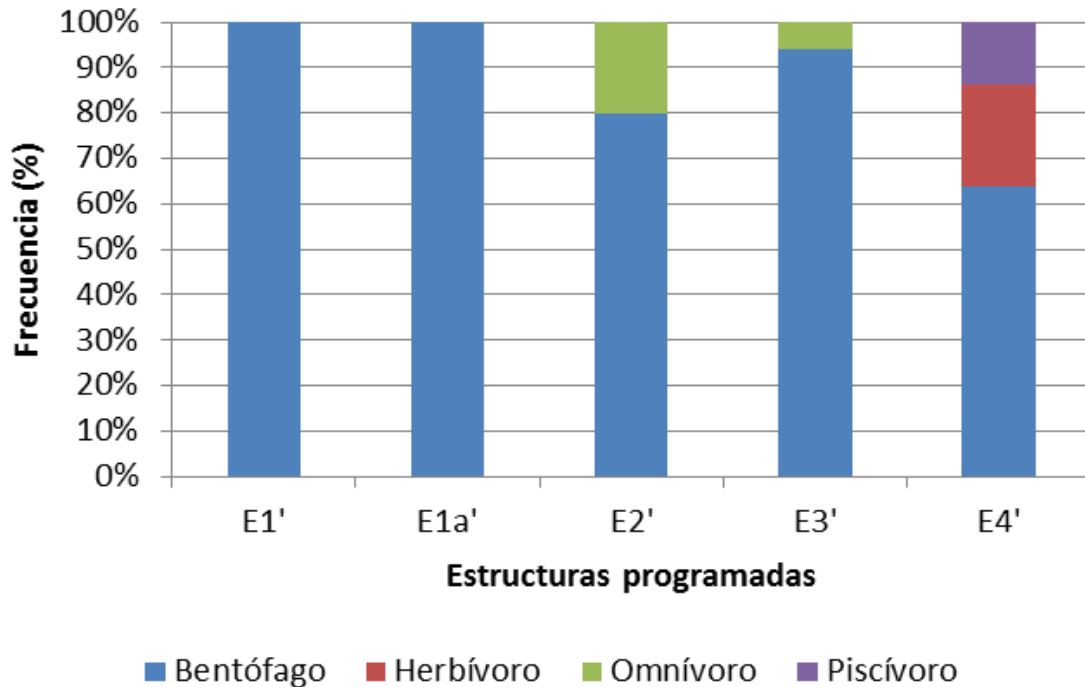
De las cinco categorías de tallas descritas para el análisis de datos, solo se registraron cuatro, sin tener presencia de peces grandes pertenecientes a la categoría V. El ambiente E4 fue donde se registró el espectro más amplio de categorías, con cuatro de ellas; siendo dominantes los peces pequeños categoría I, con un aporte del 61.1% de frecuencia. En los ambientes E1, E1a y E3 se presentaron peces de categoría I y II, dominando la primera con respecto a la frecuencia de observación, con valores de 52.4%, 80% y 75% respectivamente. Finalmente, en el ambiente E2 solo se registraron peces dentro de la categoría I.



**Figura 175.** Estructura de tallas para peces arrecifales en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. I <5 cm, II=5-10 cm, III=10-20 cm, IV=20-30, V>25 cm de longitud.

#### IV.2.2.4.4.2.3.5 Grupos funcionales

Se obtuvo registro de cuatro grupos tróficos presentes en el muestreo; donde el ambiente E4 registró tres de ellos, siendo dominantes los peces bentófagos con una frecuencia del 63.9%, siguiendo los peces herbívoros con un aporte del 22.2% y los piscívoros con el 13.9%. Los ambientes E2 y E3 presentaron peces bentófagos y omnívoros, dominando los primeros mencionados, con un valor de frecuencia del 80% y 93.9% en cada ambiente mencionado. En E1 y E1a solo fueron registrados peces bentófagos.



**Figura 176.** Grupos tróficos para peces arrecifales en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Bento=Bentófago, Herbi=Herbívoro, Ictio=Ictiófago, Omni=Omnívoro; Planc=Planctófago.

#### IV.2.2.4.4.2.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos)

##### IV.2.2.4.4.2.4.1 Distribución y composición de especies

Se registró un total de 27 especies, pertenecientes a 17 géneros y 3 divisiones. Los sitios previstos para la colocación de las estructuras tienen una composición de algas similar, ya que pertenecen al mismo tipo de ambientes, con una dominancia de algas rojas de los géneros *Acanthophora*, *Amphiroa* y *Dasya* con abundancia de algas verdes calcáreas del género *Halimeda*.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 47.** Listado de especies de vegetación marina y estimaciones de abundancia en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto, con base en su cobertura relativa. Dominante (D)=>20%; Abundante (A)=10-20%; Común (C)= 5-10%; Escasa (E)= 1-5% y Rara (R) = <1%.

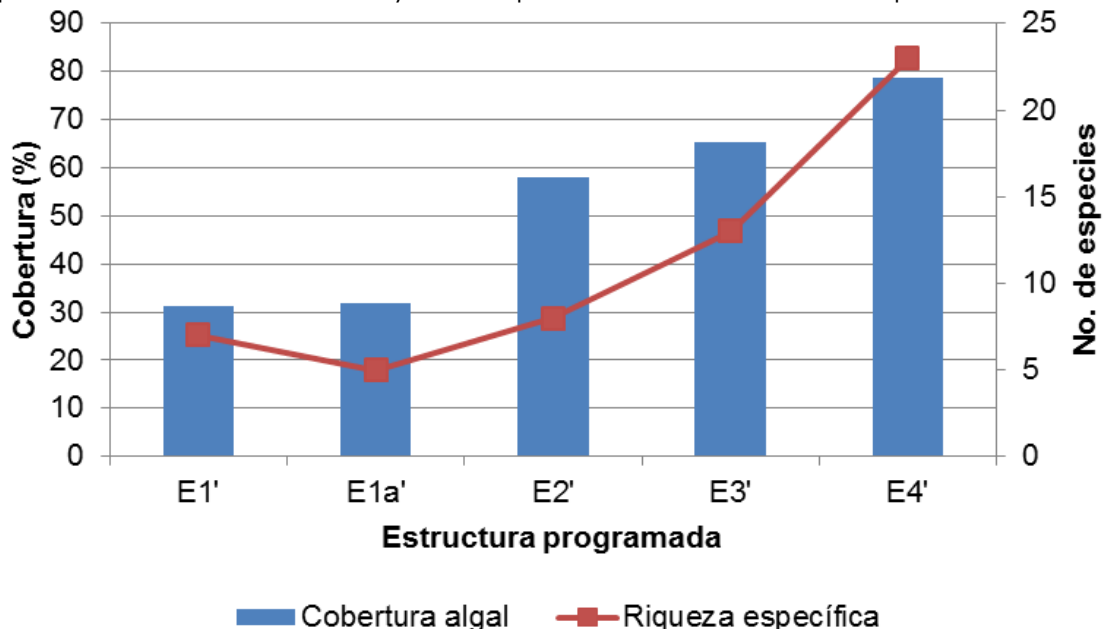
División	Género	Especie	E1	E1a	E2	E3	E4
Chlorophyta	Avrainvillea	asarifolia	E	E			
		fibrosa	C				
	Batophora	occidentalis					C
	Caulerpa	cupressoides			E	E	R
		mexicana					E
	Halimeda	discoidea			C	E	E
		incrassata	E		E		
		lacrimosa					R
		opuntia	E		C	A	
		scabra				E	
	tuna	A	D	A	A	A	
	Penicillus	dumetosus					E
	Rhipilia	tomentosa			A	D	C
	Rhipocephalus	phoenix				E	E
	Udotea	cyathiformis					E
fibrosa			A		E	E	
Valonia	macrophysa				E	R	
Phaeophyta	Dictyosphaeria	cavernosa				E	E
	Dictyota	crispata					C
	Sargassum	natans					E
Rhodophyta	Acanthophora	spicifera	D	D			A
	Amphiroa	fragilissima					R
		rigida			D	D	
	Asparagopsis	taxiformis				E	R
	Dasya	harveyi					A
		ocellata	D	A	A	A	A
Halymenia	sp.					R	
<b>Total</b>			<b>7</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>21</b>



**Figura 177.** Especies de macroalgas presentes en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Parches del alga verde de la especie *Rhipilia tomentosa* (izq.), algas rojas (centro) y gorgonáceos con algas (der.).

#### IV.2.2.4.2.4.2 Abundancia y riqueza específica

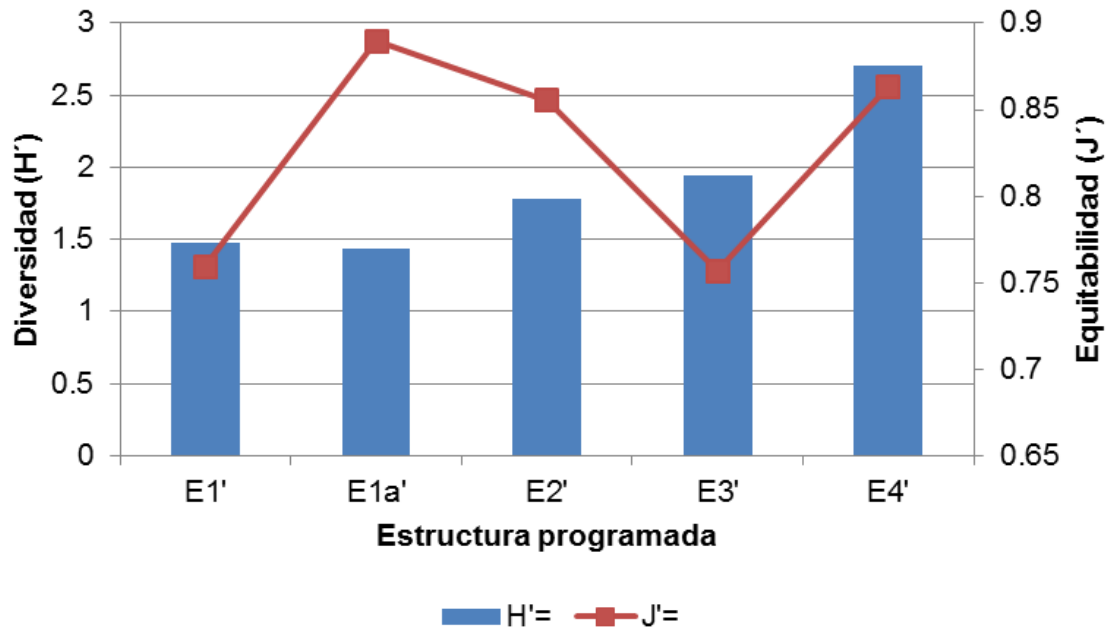
Los sitios en donde se tiene previsto colocar las nuevas estructuras presenta una cobertura de algas que va incrementando gradualmente desde las estructuras E1 y E1a con poco más del 30% de cobertura vegetal, hasta la E4 con 79% de cobertura. El mismo patrón se observó para el número de especies, con 7 y 5 especies en las estructuras E1 y E1a respectivamente, hasta 21 especies en E4.



**Figura 178.** Abundancia y Riqueza específica de vegetación marina en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto.

#### IV.2.2.4.4.2.4.3 Diversidad y Equitabilidad

La diversidad para los sitios donde se pondrán las nuevas estructuras presenta un incremento gradual que va de  $H'=1.5$  en las estructuras E1 y E1a hasta  $H'=2.7$  en E4. Los valores de equitabilidad varían entre  $J'=0.76$  y  $0.89$ .

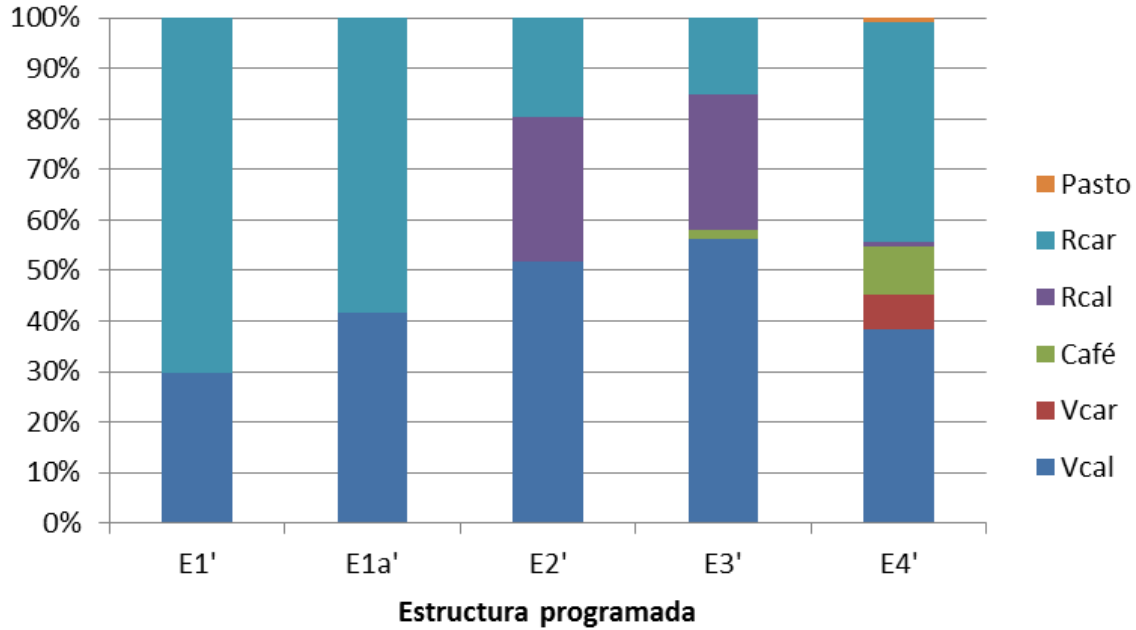


**Figura 179.** Diversidad de vegetación marina en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

#### IV.2.2.4.4.2.4.4 Grupos funcionales

La composición de los grupos funcionales de algas es parecida entre los sitios de las estructuras E1 y E1a, con presencia únicamente de algas verdes calcáreas y rojas carnosas. Del mismo modo, los sitios de las E2 y E3 son similares con dominancia de algas verdes calcáreas, seguida de algas rojas calcáreas y presencia de algas verdes calcáreas. Y finalmente, la estación E4 presenta una mayor variedad de grupos funcionales en la comunidad de algas.





**Figura 180.** Grupos taxonómicos para vegetación en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Vcar=Clorofitas carnosas, Vcal=Clorifitas calcáreas, Rcar=Rodofitas carnosas, Rcal=Rodofitas calcáreas, Café=Feofitas, Pasto=Magnoliofitas, Ciano=Cianobacterias.

#### IV.2.2.4.4.2.5 Invertebrados

##### IV.2.2.4.4.2.5.1 Distribución y composición de especies

Se registraron 4 grupos de invertebrados en los 5 sitios considerados para la colocación de estructuras, siendo estos equinodermos, esponjas y moluscos y zoántidos. Se registró un total de 12 especies de invertebrados, pertenecientes a 11 géneros y 11 familias. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 6 especies presentes. La mayor cantidad de especies registradas fue 9 y se registró en el sitio E4.

**Tabla 48.** Presencia y abundancia relativa de otros invertebrados en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Dominante (D)=>20%; Abundante (A)=10-20%; Común (C)= 5-10%; Escasa (E)= 1-5% y Rara (R) = <1%. 1= presencia de la especie en el sitio.

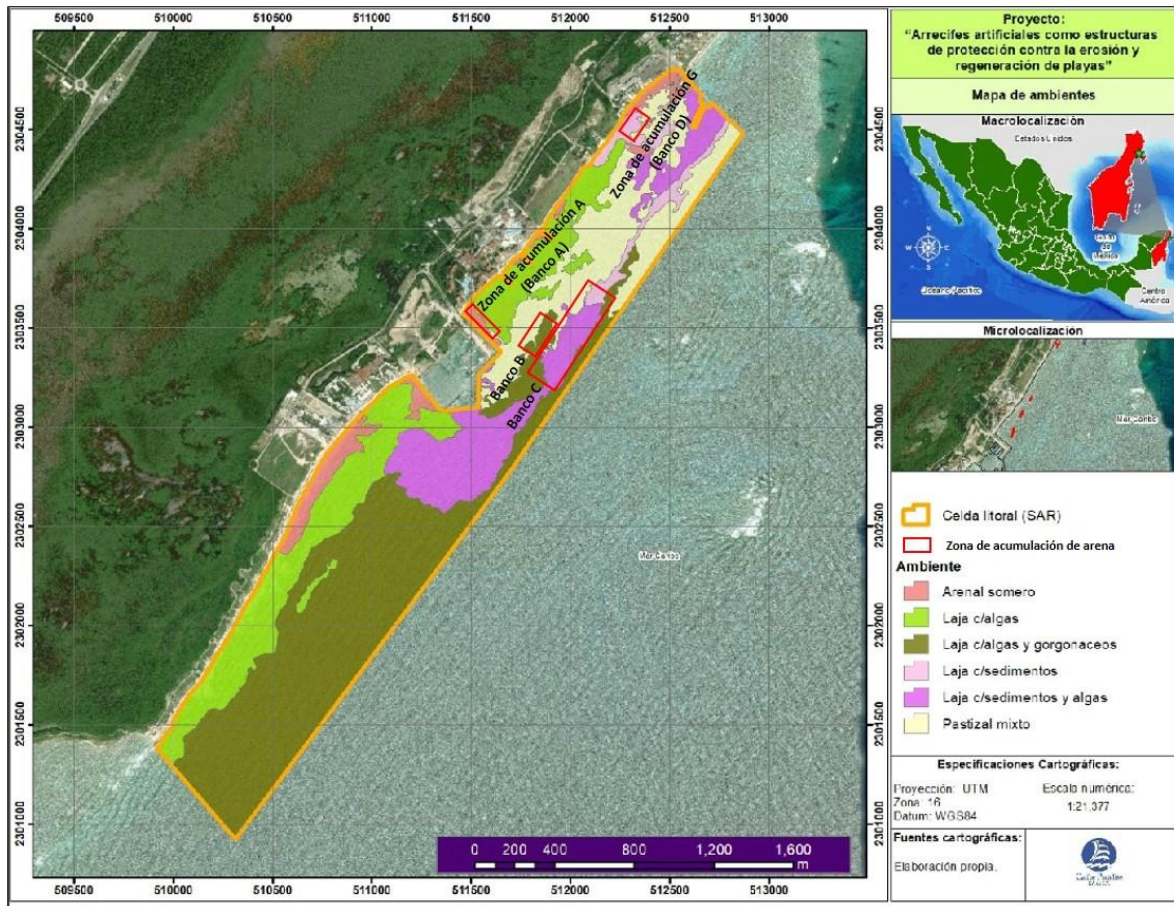
Grupo	Familia	Género	Especie	E1	E1a	E2	E3	E4
Equinodermo	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>mexicana</i>				1	
	Toxopneustidae	<i>Tripneustes</i>	<i>ventricosus</i>					1
Esponja	Aplysinidae	<i>Aplysina</i>	<i>fistularis</i>	1		1	1	1
	Clionidae	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>	1	1	1	1	1
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>	1				1
	Ircinidae	<i>Ircinia</i>	<i>felix</i>					1
			<i>strobilina</i>	1	1	1	1	
	Tedaniidae	<i>Tedania</i>	<i>ignis</i>					1
Molusco	Cassidae	<i>Cassis</i>	<i>sp</i>					1
	Fascioliariidae	<i>Pleuroploca</i>	<i>gigantea</i>					1
	Muricidae	<i>Murex</i>	<i>sp</i>				1	1
Zoántido	Sphenopidae	<i>Palythoa</i>	<i>caribaeorum</i>		1		1	
<b>Total</b>				<b>4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>9</b>



**Figura 181.** Especies de invertebrados presentes en el área programada para los arrecifes artificiales del proyecto. Esponja (der).

#### **IV.2.2.4.5 Caracterización biológica en los bancos de arena**

A continuación, se muestra una descripción de los tipos de ambientes registrados en las zonas de acumulación de arena o bancos de arena, y se muestra un análisis de su comunidad biótica. Cabe recordar, que las dos únicas zonas de acumulación propuestas como zonas extracción de arena para el presente proyecto son la “A” y “G”.



**Figura 182.** Tipo de ambientes en las zonas de acumulación o bancos de arena.

## Zona de acumulación “A”

El área que abarca la zona de acumulación A (referido en Anexo IV.1 como **Banco A**). Esta zona es muy homogénea, siendo un sustrato de arena fina con presencia de limo, con una profundidad del sedimento mayor a los 10 cm. En el área no se detectó presencia de biota marina, a excepción de un pequeño parche de pasto de la especie *Halodule wrightii* de hojas muy escasas. La profundidad en este sitio va desde 1 a 2.3 m. Durante el muestreo, **el área presentó una visibilidad prácticamente nula, debido al efecto de la presencia de sargazo** en la zona de playa.





**Figura 183.** Zona de acumulación A (referido en Anexo IV.1 como Banco A). Vista desde la superficie (arriba) y fotografía del fondo (abajo).

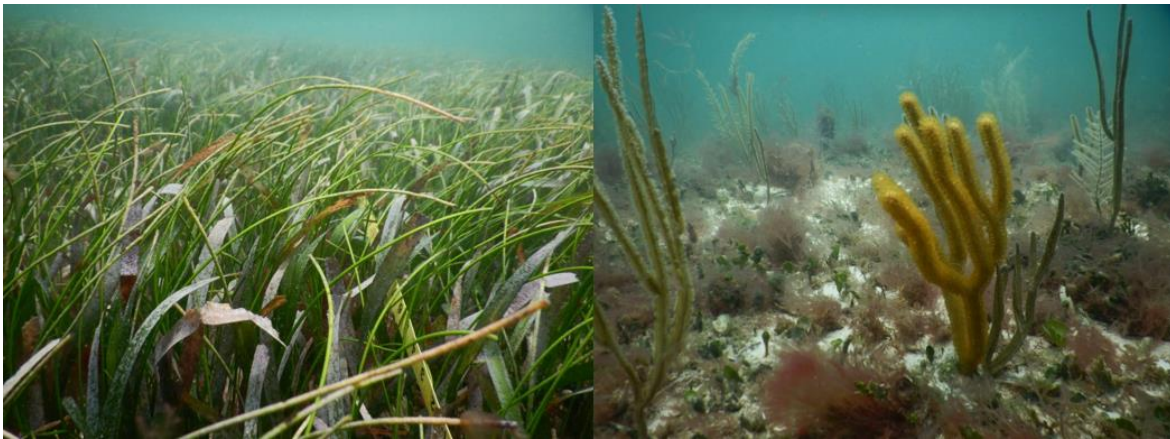
### **Banco B**

El polígono denominado Banco B abarca una extensión de 3 ha, con una longitud de 273 metros de largo, paralelo a la línea de costa, y de 110 m de ancho. Este polígono abarca una profundidad que va de los 5 a los 6 metros.

La parte somera de este polígono consiste de una franja de Pastizal mixto (Pmix) que abarca el 36% del polígono, siendo un área extensa y homogénea formada por una pradera de pasto marino de *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*, en un sustrato de arena media y fina. Las hojas del pasto marino *T. testudinum*

tienen forman un dosel de aproximadamente 25 cm de alto, tienen hojas rotas de color café y presencia media de epífitas.

En la parte más profunda, y abarcando la mayor parte del polígono del Banco B (63.5%) se presenta un ambiente de Laja con algas y gorgonaceos, con algunos parches de sedimento de arena media, y algunos parches de pastizal. Los gorgonaceos en esta área son diversos, de abundancia media a alta, y se observan algunos ejemplares de gran tamaño. Hay poca presencia de corales, encontrando colonias aisladas y de tamaño pequeño, principalmente de la especie *Siderastrea radians*



**Figura 184.** Banco B. Ambiente de Pastizal mixto en la parte somera del banco (izq.), y ambiente de Laja con algas y gorgonaceos en la parte profunda del polígono del Banco B (der.).



### Banco C

El polígono denominado Banco C abarca una extensión de 7 ha, con una longitud de 571m de largo, paralelo a la línea de costa, y de 123 m de ancho. Este polígono abarca una profundidad que va de los 6 a los 6.5 metros. La parte somera de este polígono está compuesto de una franja estrecha de un ambiente de Pastizal mixto (21.4%). Esta pradera de pasto marino está compuesta principalmente de *Syringodium* filiforme y algas. En esta zona se encuentran parches de pastizal y lja con algas y gorgonaceos. El sustrato ds de arena grues y limo.

En la parte profunda del extremo norte de este polígono se forma un ambiente de Laja con sedimento que abarca el 10.6%, cubierta de un sustrato de arena media y gruesa, con presencia de limo. En el sustrato se encuentran hojuelas de carbonato de calcio que se forman por las hojas de los esqueletos del alga marina del género *Halimeda*.

La mayor parte del polígono corresponde a un ambiente de Laja con sedimentos y algas (60.6%) La capa de sedimento en este tipo de sustrato es muy delgada, de solamente unos cuantos centímetros. Se encuentra presencia de gorgonaceos de tamaño mediano, lo que advierte la presencia del sustrato de laja. Y en el extremo sur del polígono se encuentra un área más pequeña del ambiente denominado Laja con algas y gorgonáceos (7.4), en donde estos organismos son más abundantes. En estos ambientes también se encontraron algunos ejemplares de corales, aunque muy escasos y de tamaño pequeño. Cabe resaltar que, en este polígono, tanto en el sustrato de Laja con sedimento, como en el de Laja con algas y gorgonaceos se encontraron ejemplares del caracol rosado *Lobatus gigas*, durante su período reproductivo, al observarse hembras con masa ovígera.



**Figura 185.** Banco C. Ambiente de pasto marino (arriba izq.). Ambiente de laja con sedimento (arriba der.). Ambiente de Laja con algas y gorgonaceos (abajo izq.); y dos ejemplares de caracol rosado *Lobatus gigas*, uno de ellos es una hembra con una masa ovígera (abajo der.).

### Zona de acumulación “G”

El área que abarca la zona de acumulación “G” (referido en Anexo IV.1 como banco D) se encuentra en la zona marina frente a donde será ubicada el arrecife artificial E1. Al igual que la anterior zona de acumulación, esta zona es muy homogénea, siendo un sustrato de arena fina con presencia de limo, con una profundidad del sedimento de 10 cm. En esta zona **no se detectó presencia de biota marina**. La profundidad en este sitio va desde 1 a 2.3 m. Durante el muestreo, **el área presentó una visibilidad prácticamente nula, debido al efecto de la presencia de sargazo** en la zona de playa.

A continuación, se muestra un análisis de su comunidad biótica, en cada zona de acumulación (banco de arena), recordando que **para la zona de acumulación “G” no se registró biota marina.**

#### IV.2.2.4.5.1 Escleractinios (corales duros)

##### IV.2.2.4.5.1.1 Distribución y composición de especies

Considerando las especies observadas fuera del transecto de muestreo, pero que se encontraban presentes en cada uno de los ambientes, se registró un total de siete especies de corales, pertenecientes a cinco géneros y cinco familias. Dentro del transecto de muestreo, solo se registraron dos especies; *Siderastrea radians* en el ambiente L/a+g perteneciente al Banco B, siendo esta la dominante; y *Manicina areolata* en el Banco C en el ambiente Pmix. En el resto de los ambientes no se encontró ninguna colonia bajo el transecto de muestro, sin embargo, se anotó la presencia de estas.

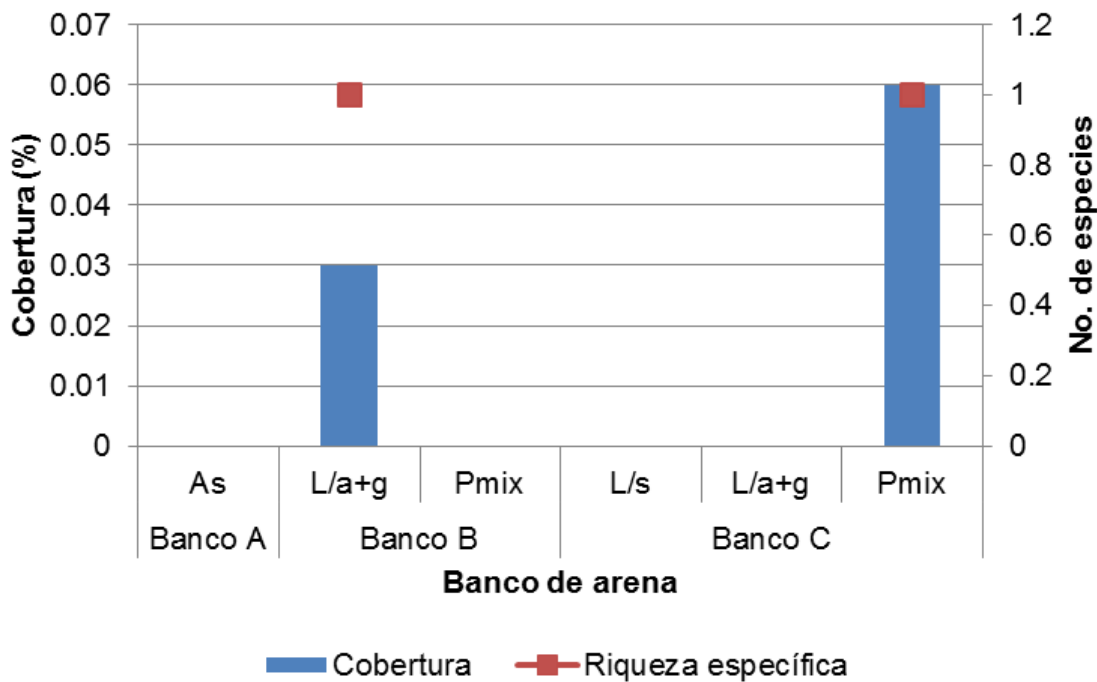
**Tabla 49.** Lista de especies de corales escleractinios y estimaciones de abundancia los bancos para extracción de arena, con base en su cobertura relativa. Dominante (D) = > 20%; Abundante (A) = 10-20%; Común (C) = 5-10%; Escasa (E) = 1-5% y Rara (R) = < 1%.

Familia	Género	Especie	Banco A	Banco B		Banco C		
			As	L/a+g	Pmix	L/s	L/a+g	Pmix
Faviidae	<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>		*	*		*	D
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>		*				
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>					*	
		<i>porites</i>		*	*		*	
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>		D			*	
		<i>sideraea</i>					*	
Hidrocorales								
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>		*			*	
<b>Total</b>				1				1

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

#### IV.2.2.4.5.1.2 Abundancia y riqueza específica

La mayor cobertura de tejido coralino se observó en el ambiente Pmix del Banco C con 0.06% y una especie registrada; mientras que en el Banco B en el ambiente L/a+g la cobertura fue de 0.03% de tejido coralino con una especie presente.



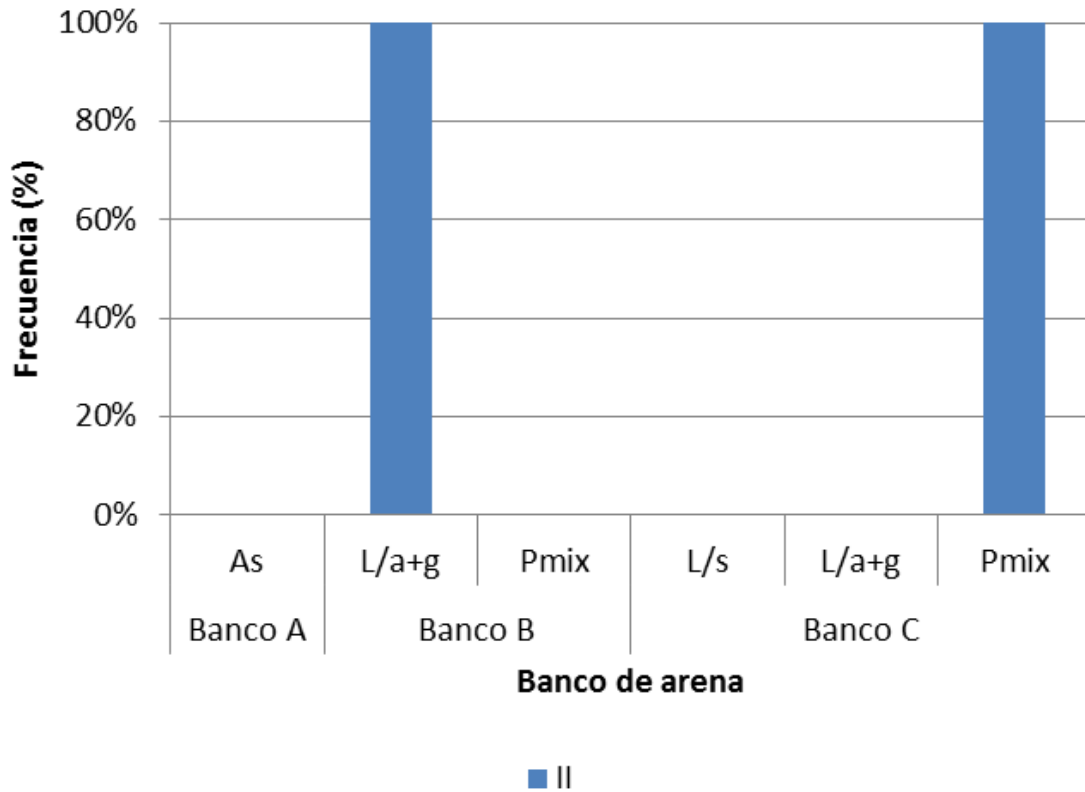
**Figura 186.** Abundancia y Riqueza específica de corales escleractinios en los bancos para extracción de arena.

#### IV.2.2.4.5.1.3 Diversidad y equitabilidad

Los valores de diversidad y equitabilidad no pudieron estimarse debido a los escasos datos obtenidos para este grupo taxonómico.

#### IV.2.2.4.5.1.4 Estructura de tallas

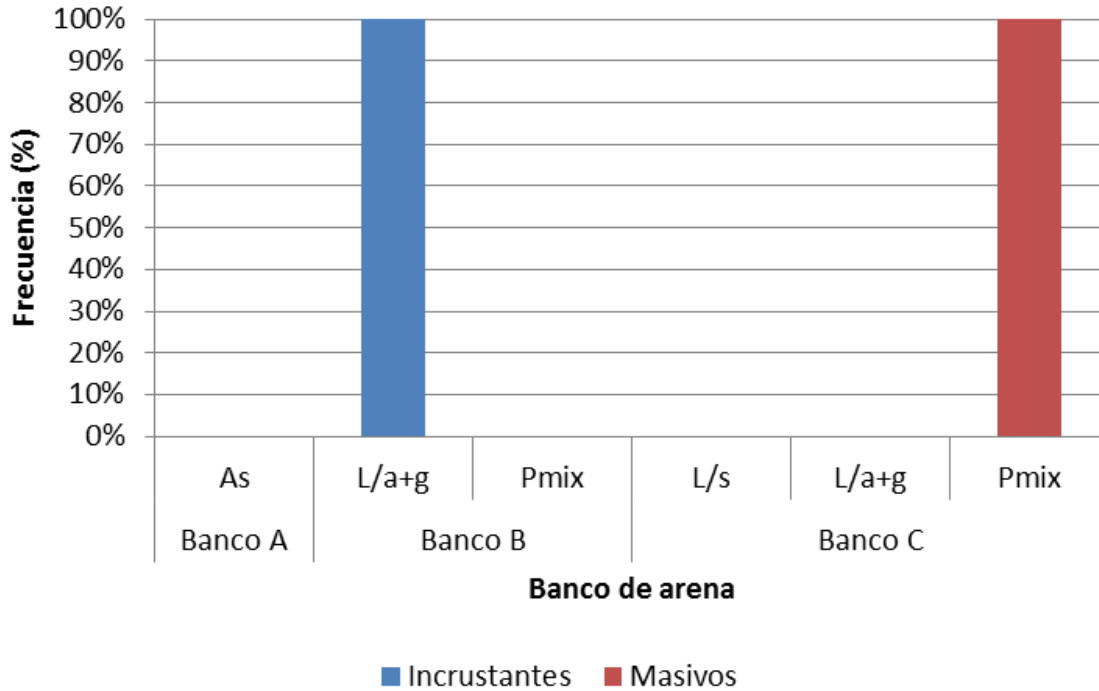
Todas las colonias encontradas fueron categoría II para ambos Bancos y sus ambientes.



**Figura 187.** Estructura de tallas para corales escleractinios en los bancos para extracción de arena. I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-40 cm, V > 40 cm de diámetro.

#### IV.2.2.4.5.1.5 Formas de crecimiento

Se observaron dos formas de crecimiento coralino: 1) incrustante, el cual aportó el 100% de frecuencia en el ambiente L/a+g en el Banco B; y 2) masivo aportando el 100% en el ambiente Pmix del Banco C.



**Figura 188.** Formas de crecimiento para corales escleractinios en los bancos para extracción de arena. Dig = Digitiforme, Inc = Incrustante, Mas = Masiva, Ram = Ramificado.

#### IV.2.2.4.5.2 Gorgonáceos (corales blandos)

##### IV.2.2.4.5.2.1 Distribución y composición de especies

En el área de estudio se registró un total de 7 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 10 géneros y 3 familias. Se muestrearon un total de 834 individuos en los 3 bancos de arena revisados.

La especie dominante en el área fue *Pterogorgia anceps*, la cual se encontró distribuida en 2 de los 3 bancos de arena del área de estudio, en donde había disponible sustrato duro para su fijación. En la lista de especies se muestra la importancia de cada una de las especies, de acuerdo a una categorización basada en rangos de abundancia relativa.



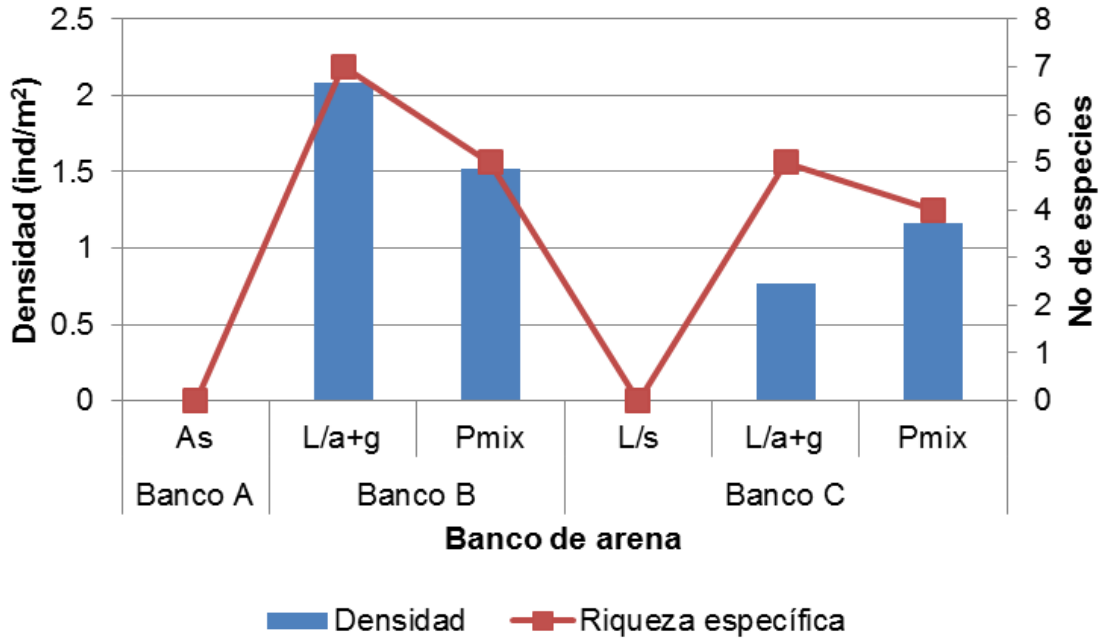
**Tabla 50.** Lista de especies de gorgonáceos y estimaciones de abundancia en los bancos para extracción de arena, con base en su cobertura relativa. Dominante (D) = > 20%; Abundante (A) = 10-20%; Común (C) = 5-10%; Escasa (E) = 1-5% y Rara (R) = < 1%.

Familia	Género	Especie	Banco A	Banco B		Banco C		
			As	L/a+g	Pmix	L/s	L/a+g	Pmix
Gorgoniidae	<i>Pseudopterogorgia</i>	<i>acerosa</i>		A	C		D	E
		<i>americana</i>		E				
	<i>Pterogorgia</i>	<i>anceps</i>		D	D		D	D
		<i>guadalupensis</i>		A	C		E	A
Plexauridae	<i>Muriceopsis</i>	<i>flavida</i>		D	A		E	D
	<i>Plexaura</i>	<i>flexuosa</i>		R				
	<i>Plexaurella</i>	<i>nutans</i>		C	E		E	
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>4</b>

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

#### IV.2.2.4.5.2.2 Abundancia y riqueza específica

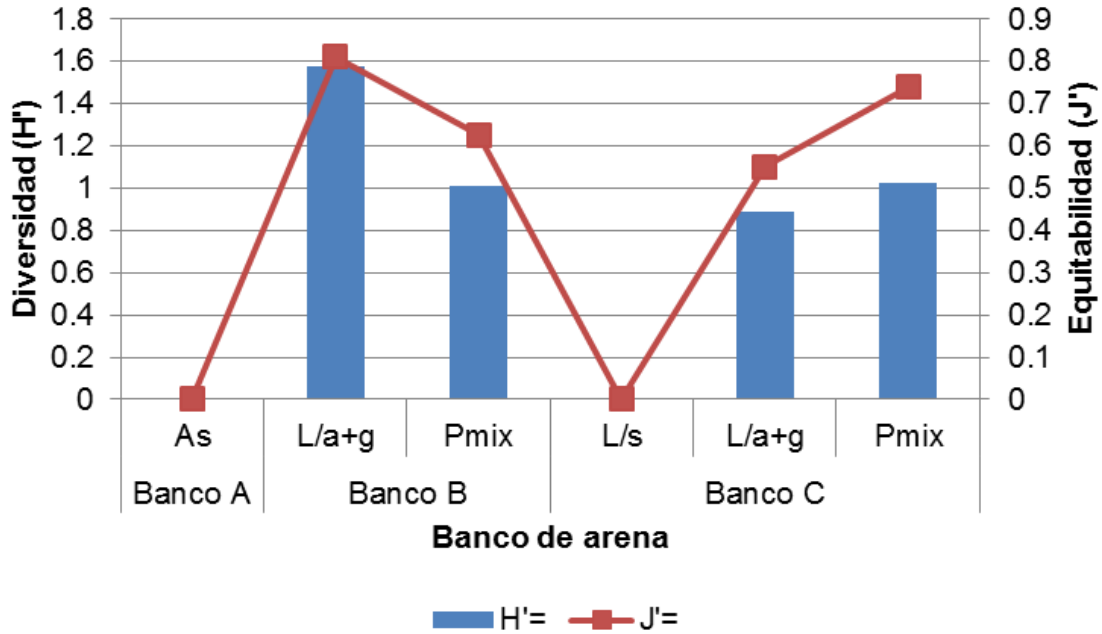
La densidad más alta se encontró en el Banco B (L/a+g), con 2.08 ind/m<sup>2</sup>, mientras que los valores más bajos se ubicaron en el Banco A, en el cual no hubo registros. En relación a la riqueza específica, también se observó la cifra más alta en el Banco B (L/a+g), con 7 especies. Por el contrario, los números más bajos se obtuvieron en As, debido a la ausencia de registros.



**Figura 189.** Abundancia y Riqueza específica de gorgonáceos en los bancos para extracción de arena.

#### IV.2.2.4.5.2.3 Diversidad y equitabilidad

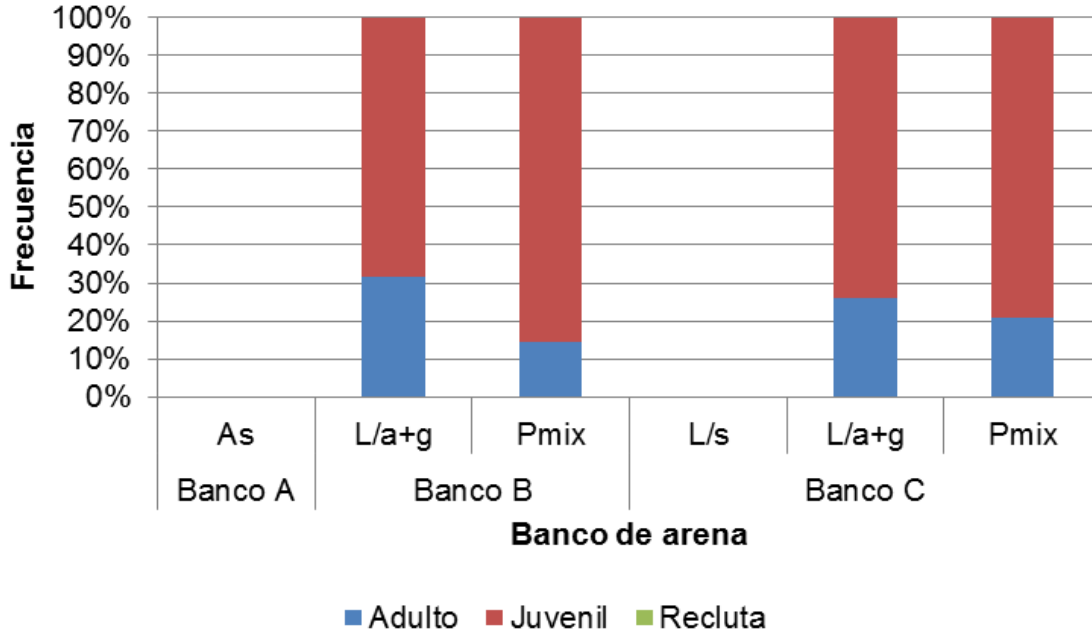
La mayor diversidad se encontró en el Banco B (L/a+g), con un valor de 1.57. El Banco A fue el menos diverso, ya que no hubo registros de gorgonáceos. En términos de equitabilidad, el valor más alto se encontró también en el Banco B (L/a+g) con 0.81. Como en el caso de la diversidad, la cifra más baja se obtuvo en Banco A, debido a que no hubo registros.



**Figura 190.** Diversidad de Gorgonáceos para el Sistema Ambiental Regional en los bancos para extracción de arena. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

#### IV.2.2.4.5.2.4 Estructura de tallas

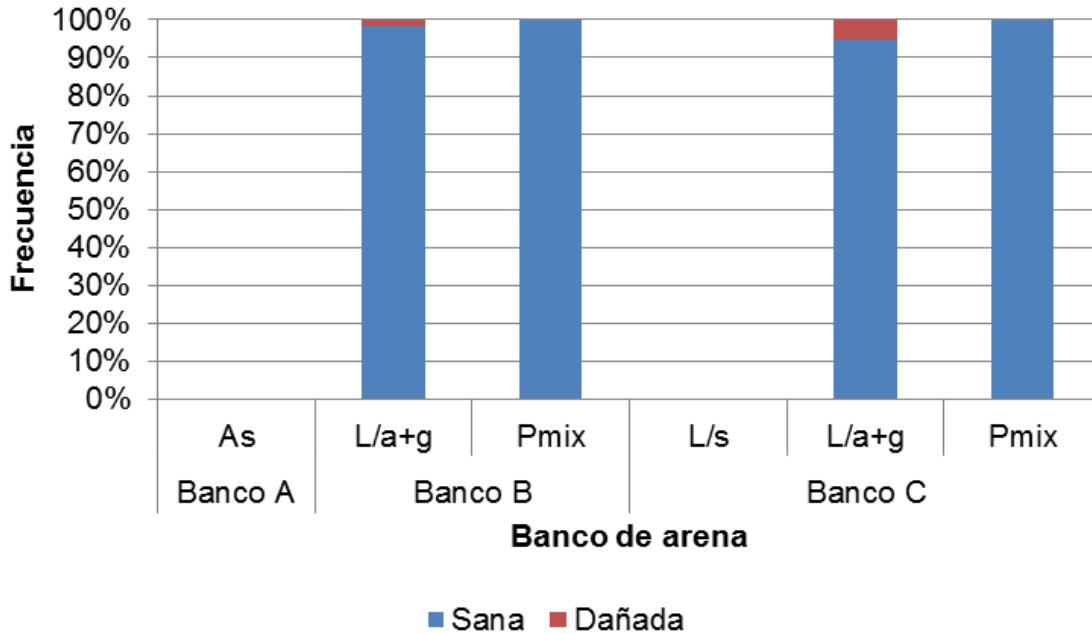
En los ambientes con registros de gorgonáceos, las tallas con mayor frecuencia fueron las de los individuos juveniles (Bancos B y C). En el caso del Banco A no hubo registros. Es importante mencionar que no se encontraron individuos reclutas.



**Figura 191.** Estructura de tallas para gorgonáceos en los bancos para extracción de arena. Adulto, Juvenil y Recluta.

#### IV.2.2.4.5.2.5 Condiciones del organismo

Se encontraron colonias dañadas en 2 de los 3 bancos de arena, aunque con diferentes frecuencias. Fue en el Banco C (L/a+g) donde se registró la mayor frecuencia de daño, con 5.1%, mientras que en el Banco B solamente se registró una frecuencia del 1% (L/a+g). Los daños registrados fueron el sobre crecimiento de algas y con menor frecuencia de esponjas y coral de fuego. En general, las frecuencias fueron bajas en los demás ambientes.



**Figura 192.** Condición del organismo para gorgonáceos en los bancos para extracción de arena. Sana = colonia sin tejido dañado, Daño = presenta algún tipo de afectación.

#### IV.2.2.4.5.3 Ictiofauna (peces arrecifales)

##### IV.2.2.4.5.3.1 Distribución y composición de especies

Se registró un total de 16 especies, distribuidas en 12 géneros y 10 familias. Tres especies solo fueron registro por observación y no se consideraron para el análisis ya que se encontraron fuera del transecto de muestreo. El Banco A, que solo contó con el ambiente As, no registró ningún organismo. La especie *Halichoeres bivittatus* domino en todos los ambientes registrados en los bancos. En el Banco B otra de las especies que dominó en el ambiente L/a+g fue *Haemulon flavolineatum*, siendo abundantes los peces cirujanos *Acanthurus coeruleus* y la especie *Haemulon macrostomum*. En este mismo banco, en el ambiente Pmix dominaron los peces loros *Sparisoma radians*. En los ambientes del Banco C, en L/s la especie *Caranx crysos* fue abundante, en el ambiente L/a+g los peces cirujanos *A. coeruleus* fueron abundantes y en Pmix los peces loros *Nicholsina usta* y los peces de la especie *Canthigaster rostrata* fueron abundantes.

**Tabla 51.** Lista de especies y abundancia relativa de peces arrecifales los bancos para extracción de arena, con base en su abundancia relativa. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

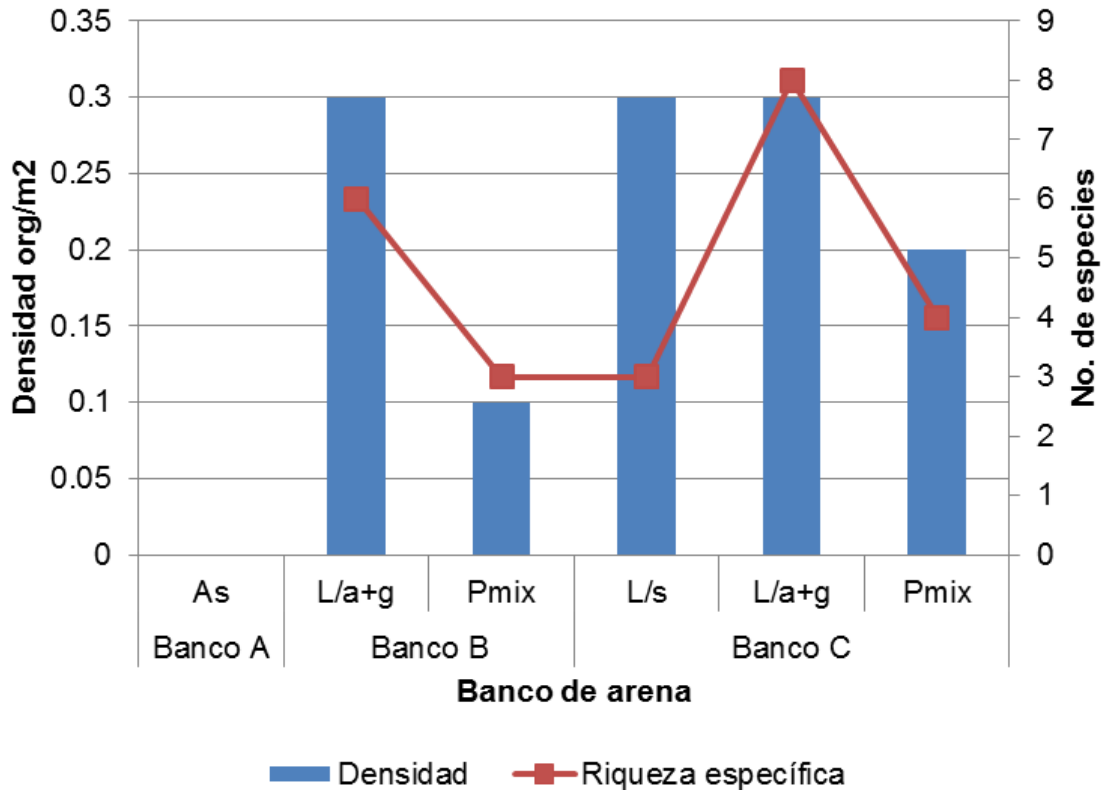
Familia	Género	Especie	Banco A	Banco B		Banco C		
			As	L/a+g	Pmix	L/s	L/a+g	Pmix
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>coeruleus</i>		A			A	
Carangidae	<i>Caranx</i>	<i>crysos</i>				A	C	
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>ocellatus</i>		*				
Gobiidae	<i>Ctenogobius</i>	<i>saepepallens</i>				C		
Haemulidae	<i>Haemulon</i>	<i>flavolineatum</i>		D				
		<i>macrostomum</i>		A			E	
Labridae	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>		D	D	D	D	D
		<i>poeyi</i>		C			E	C
	<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>					E	
Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	<i>analís</i>		*				
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>					E	A
	<i>Sparisoma</i>	<i>chrysopterum</i>		E				
		<i>radians</i>			D		E	
		<i>viride</i>			*			
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>				*	A	
Urobatidae	<i>Urobatis</i>	<i>jamaicensis</i>			A			
<b>Total</b>				<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

#### IV.2.2.4.5.3.2 Abundancia y riqueza específica

En el Banco B la mayor densidad de peces y riqueza más alta se obtuvo en el ambiente L/a+g con 0.3 org/m<sup>2</sup> y seis especies registradas, y en el ambiente Pmix se obtuvo una densidad de 0.1 org/m<sup>2</sup> y tres especies. En el Banco C los ambientes L/s y L/a+g ambos registraron 0.3 org/m<sup>2</sup>, con una riqueza de tres y ocho especies respectivamente, mientras que en el ambiente Pmix se observó una densidad de 0.2 org/m<sup>2</sup> con una riqueza de cuatro especies.

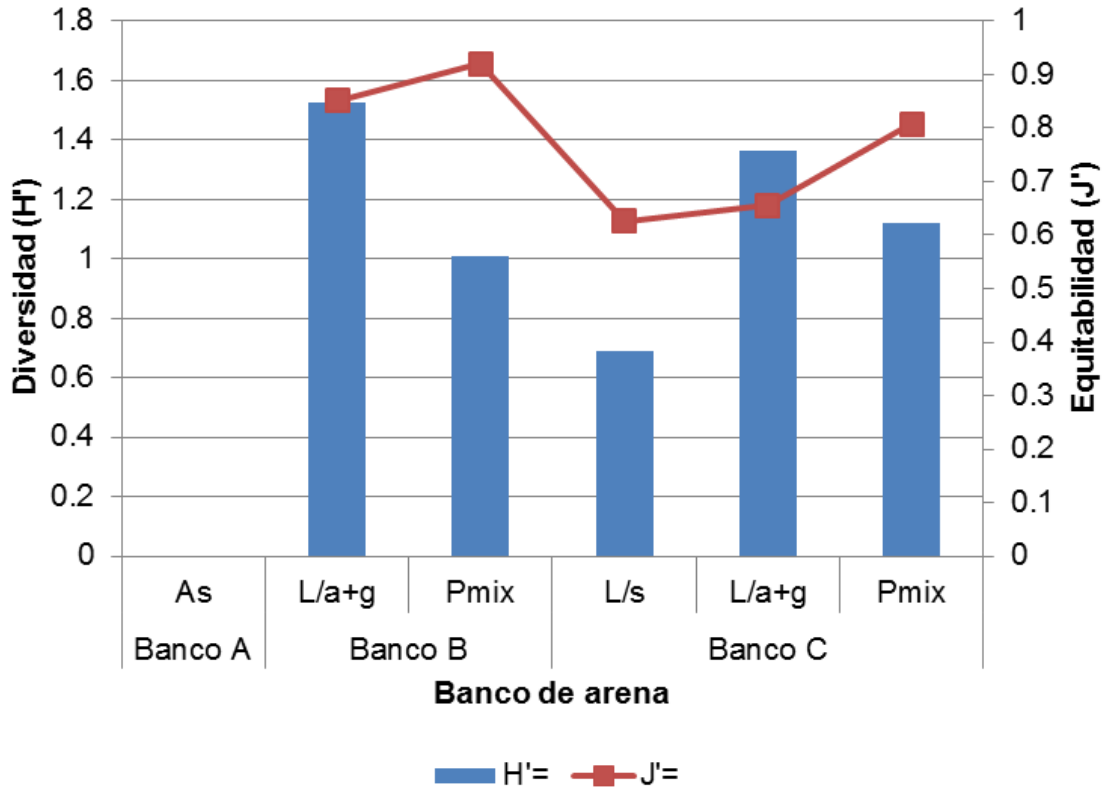




**Figura 193.** Abundancia y Riqueza específica de peces arrecifales en los bancos para extracción de arena.

#### IV.2.2.4.5.3.3 Diversidad y equitabilidad

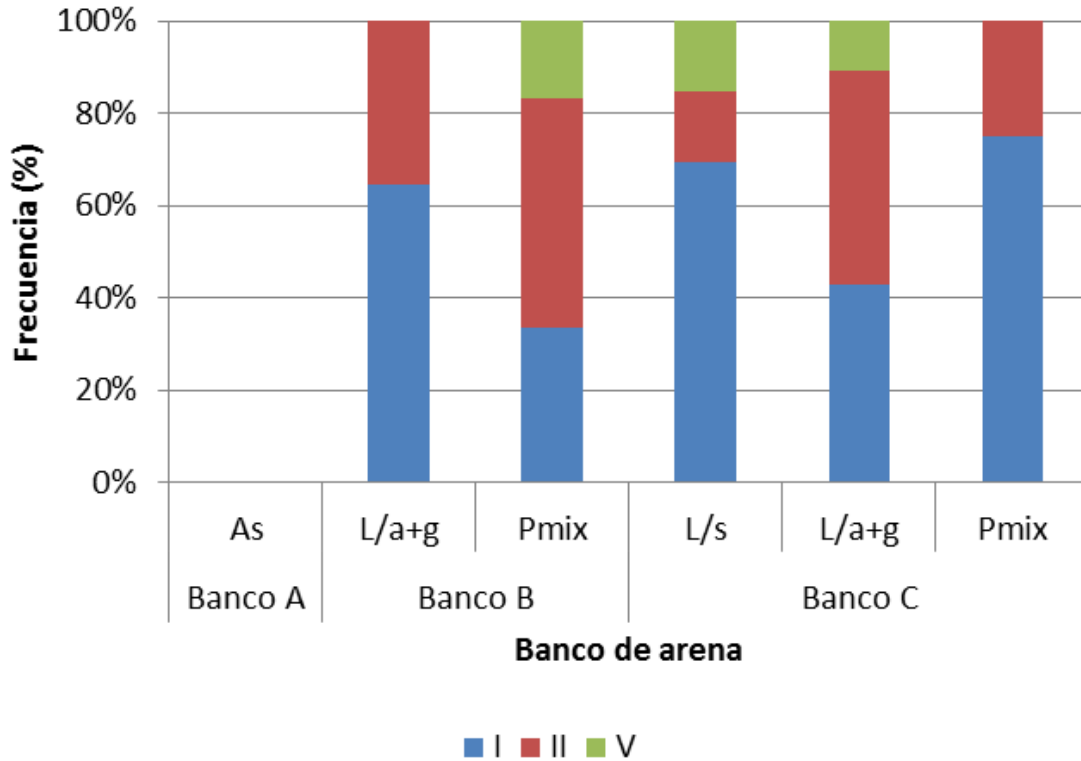
En el Banco B en el ambiente L/a+g se registró la mayor diversidad con un valor de  $H'=1.5249$  con una equitabilidad de  $J'=0.8510$ ; en este mismo banco se obtuvo la más alta equitabilidad, presentándose en el ambiente Pmix con un valor de  $J'=0.9206$  y una diversidad  $H'=1.0114$ . En el Banco C se obtuvo la segunda mayor diversidad, siendo el ambiente L/a+g donde se presentó, con un valor de  $H'=1.3644$  y una equitabilidad de  $J'=0.6561$ ; el ambiente Pmix obtuvo valores de  $H'=1.1187$  y  $J'=0.8070$  y finalmente el ambiente L/s, fue donde se registraron los valores más bajos de estos índices, con una diversidad de  $H'=0.6870$  y una equitabilidad de  $J'=0.6254$ .



**Figura 194.** Diversidad de peces arrecifales para el Sistema Ambiental Regional en los bancos para extracción de arena. Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ).

#### IV.2.2.4.5.3.4 Estructura de tallas

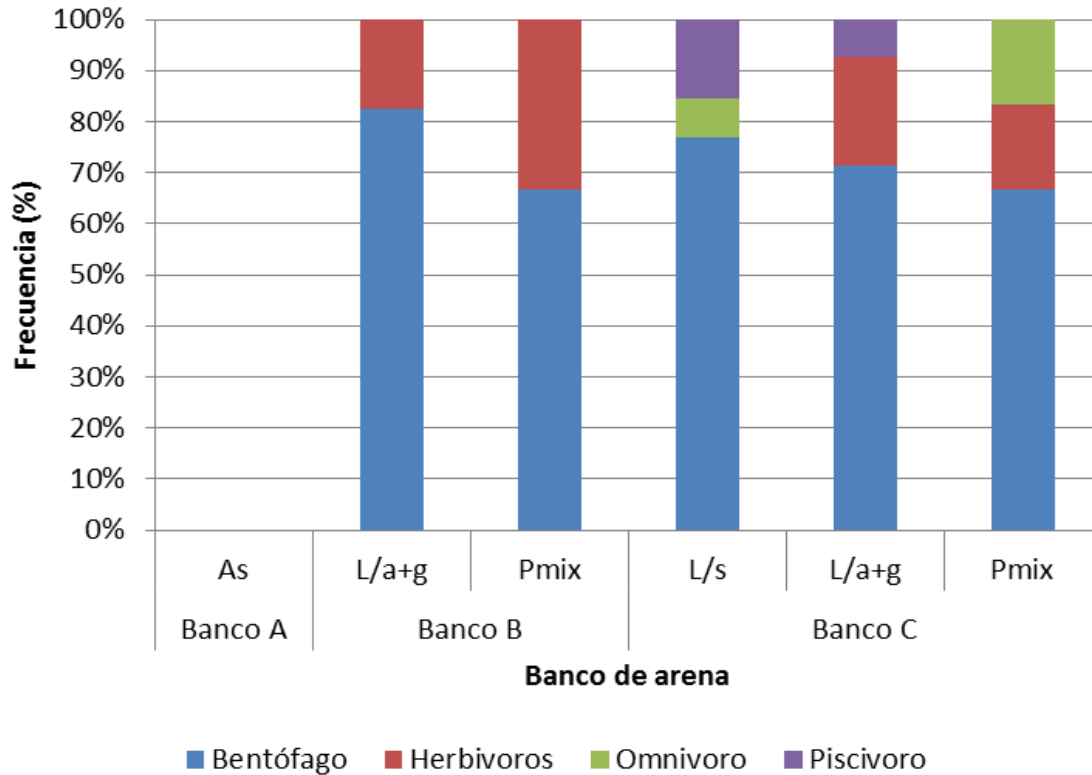
De las 6 categorías propuestas para este grupo biológico solo se registraron tres. En el Banco B el ambiente Pmix presentó las tres categorías, aportando una mayor frecuencia los peces medianos pertenecientes a la categoría II, con un valor de 50% de frecuencia, mientras que los peces categoría I y V registraron el 33.3% y 16.7% respectivamente. El ambiente L/a+g solo registró peces pequeños, dominando los peces categoría I, con un aporte del 64.7% de frecuencia. En el Banco C, los ambientes L/s y L/a+g presentaron las tres categorías dominando los peces categoría I en el primer ambiente, y los peces categoría II en L/a+g; mientras que en el ambiente Pmix dominaron con un 75% los peces categoría I.



**Figura 195.** Estructura de tallas para peces arrecifales en los bancos para extracción de arena. I < 5 cm, II = 5-10 cm, III = 10-20 cm, IV = 20-30, V > 25 cm de longitud.

#### IV.2.2.4.5.3.5 Grupos funcionales

Se registraron cuatro grupos tróficos, sin estar representados todos en un solo ambiente. En el Banco B los ambientes L/a+g y Pmix solo presentaron peces bentófagos y herbívoros, siendo el primer grupo trófico mencionado los que aportaron la mayor frecuencia, con 82.4% para el primer ambiente y 66.6% para Pmix. En el Banco C, todos los ambientes registraron tres grupos tróficos, en todos los casos dominaron los peces bentófagos, con un aporte que va desde el 66.6%, registrado en Pmix, hasta el 76.9% de frecuencia, registrada en el ambiente L/s.



**Figura 196.** Grupos tróficos para peces arrecifales en los bancos para extracción de arena. Bento = Bentófago, Herbi = Herbívoro, Ictio = Ictiófago, Omni = Omnívoro; Planc = Planctófago.

#### IV.2.2.4.5.4 Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos)

##### IV.2.2.4.5.4.1 Distribución y composición de especies

Se registró un total de 33 especies, pertenecientes a 21 géneros y 5 divisiones. Las asociaciones de especies de la vegetación dominante están determinadas por el tipo de ambiente que se encontró dentro de cada banco. Así, en el Banco A no se encontró vegetación marina. En el Banco B, se observa una dominancia de pastos marinos en el ambiente Pmix, y del alga roja *Dasya ocellata* en el ambiente de Laja con algas y gorgonáceos. En el banco C, la vegetación dominante es del pasto marino *Syringodium filiforme* en el ambiente Pmix, del alga roja *Dasya ocellata* en el ambiente Laja con sedimento, y algas rojas del género *Laurencia* en el ambiente L/a+g.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

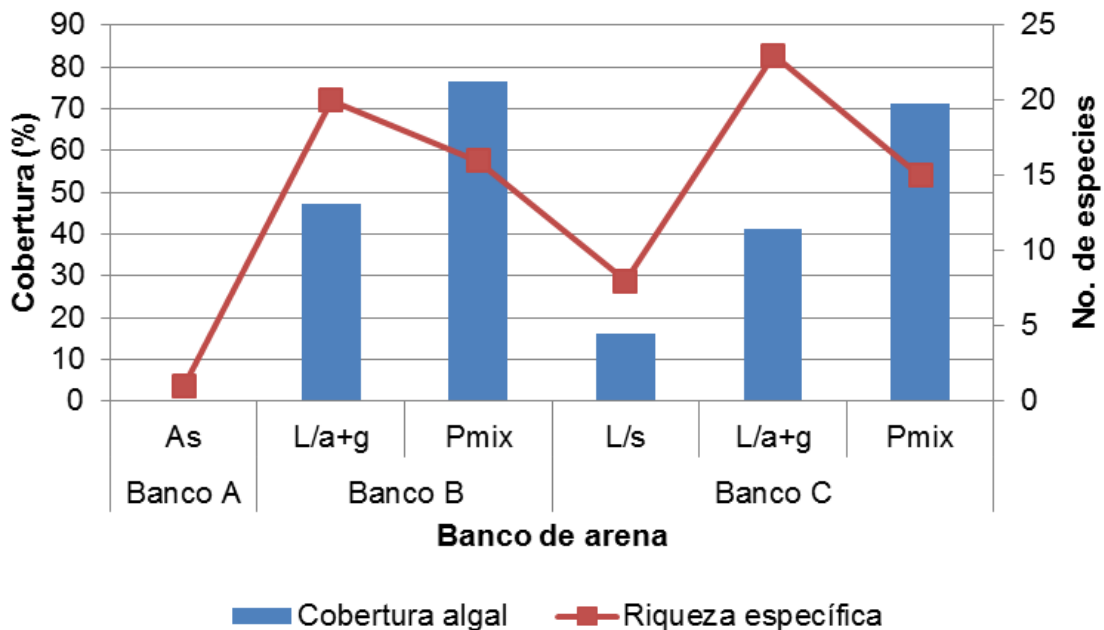
**Tabla 52.** Lista de especies de vegetación marina y estimaciones de abundancia los bancos para extracción de arena, con base en su cobertura relativa. Dominante (D) = > 20%; Abundante (A) = 10-20%; Común (C) = 5-10%; Escasa (E) = 1-5% y Rara (R) = <1%.

División	Género	Especie	Banco A	Banco B		Banco C			
			As	L/a+g	Pmix	L/s	L/a+g	Pmix	
Chlorophyta	Acetabularia	<i>crenulata</i>				A			
		<i>sp.</i>					R		
	Avrainvillea	<i>longicaulis</i>						E	
	Caulerpa	<i>mexicana</i>		E			R		
		<i>paspaloides</i>				E			
		<i>prolifera</i>		E	E		C	R	
	Codium	<i>repens</i>		E	E	C			
	Dasycladus	<i>vermicularis</i>		E			R		
	Derbesia	<i>sp.</i>		E			C		
	Dictyosphaeria	<i>cavernosa</i>		R			R		
	Halimeda	<i>discoidea</i>				E		E	
		<i>incrassata</i>		C	C		C	A	
		<i>lacrimosa</i>					R		
		<i>opuntia</i>		E				E	
		<i>tuna</i>					R		
	Penicillus	<i>capitatus</i>		E	E	C	E	E	
		<i>dumetosus</i>		E	E		E	E	
		<i>lamourouxii</i>						R	
	Rhipilia	<i>tomentosa</i>		R	E		R		
	Rhipocephalus	<i>phoenix</i>		E	E	A	R	E	
Udotea	<i>cyathiformis</i>		C				E		
	<i>fibrosa</i>		E		C	E	A		
	<i>flabellum</i>			E					
Phaeophyta	Hypnea	<i>cervicornis</i>					C		
	Lobophora	<i>variegata</i>			R		R	R	
Rhodophyta	Dasya	<i>ocellata</i>		D	A	D	E	C	
	Gracilaria	<i>sp.</i>		R	R				
	Heterosiphonia	<i>gibbesi</i>		R	E		C		
	Laurencia	<i>papillosa</i>						D	
		<i>poiteaui</i>		C	E		C	E	
Magnoliophyta	Syringodium	<i>filiforme</i>		C	D	A	E	D	
	Thalassia	<i>testudinum</i>		E	D		E	E	
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	

**Tipos de ambientes:** As = Arenal somero; L/a = Laja con algas; L/a+g = Laja con algas y gorgonáceos; L/s = Laja con sedimentos; L/s+a = Laja con sedimentos y algas; Pmix = Pastizal mixto; R/a = Rocas con algas.

#### IV.2.2.4.5.4.2 Abundancia y riqueza específica

La cobertura de vegetación marina es más elevada en los ambientes del Pmix, siendo del 76% para el Banco B y del 71% para el Banco C. La cobertura de algas para los ambientes de L/a+g es similar para los Bancos B y C, siendo del 47% y del 41% respectivamente. Finalmente, la cobertura de algas más baja se da en el ambiente L/s del Banco C, con 16% de cobertura de algas. En el ambiente As del Banco A no se registró presencia de algas.

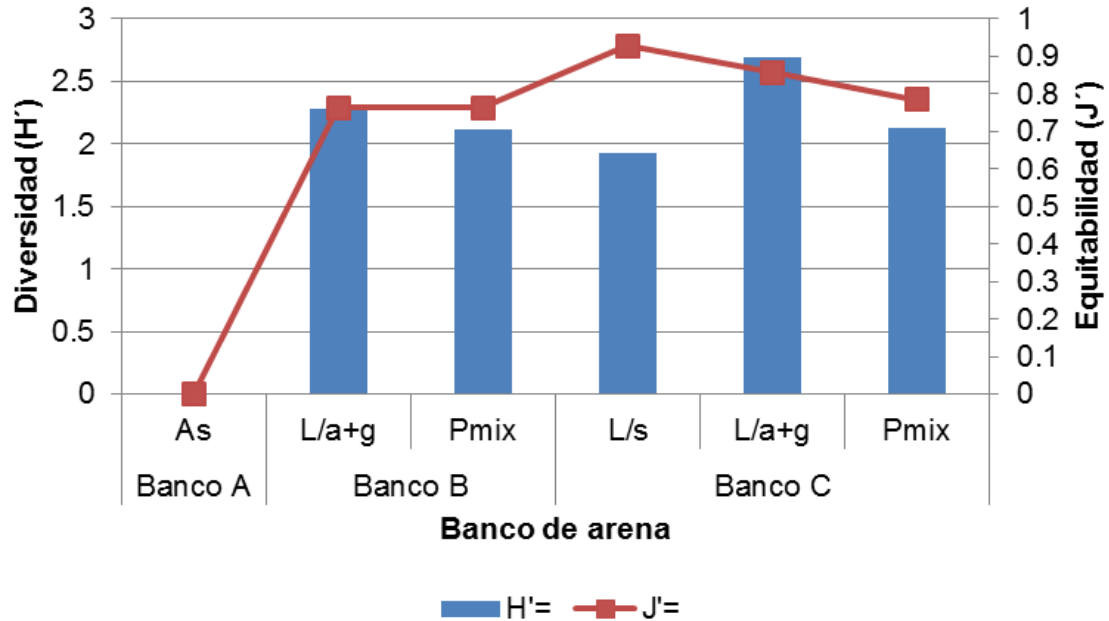


**Figura 197.** Abundancia y Riqueza específica de vegetación marina en los bancos para extracción de arena.

#### IV.2.2.4.5.4.3 Diversidad y equitabilidad

Los valores de diversidad son muy parecidos entre los diferentes ambientes de los bancos de arena, estimando valores de  $H'$  entre 1.9 y 2.7, mientras que la equitabilidad oscila en valores de  $J'$  entre 0.7 y 0.9.

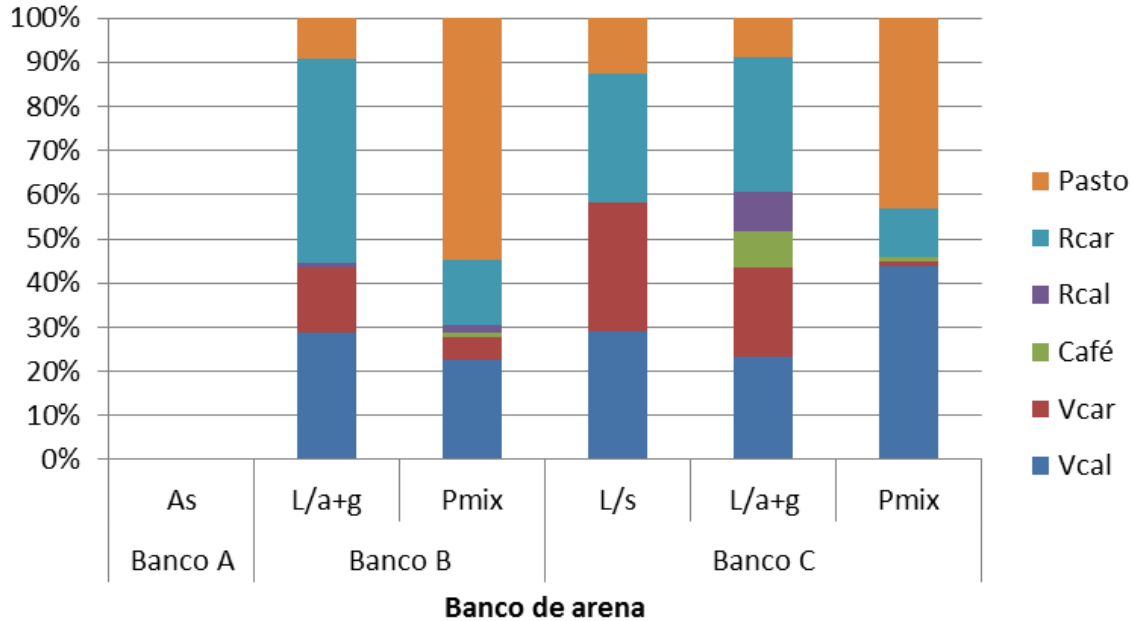




**Figura 198.** Diversidad de vegetación marina en los bancos para extracción de arena. Índice de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J').

#### IV.2.2.4.5.4.4 Grupos funcionales

La composición de los grupos funcionales de algas también es muy parecida en los ambientes similares de los diferentes bancos de arena. Teniendo una dominancia de pastos marinos en el ambiente Pmix de los bancos B y C, y una dominancia de algas rojas carnosas en los ambientes de laja, con presencia importante de algas verdes calcáreas.



**Figura 199.** Grupos taxonómicos para vegetación marina en los bancos para extracción de arena. Vcar = Clorofitas carnosas, Vcal = Clorifitas calcáreas, RcaR = Rodofitas carnosas, Rcal = Rodofitas calcáreas, Café = Feofitas, Pasto = Magnoliofitas, Ciano = Cianobacterias.

#### IV.2.2.4.5.5 Invertebrados

##### IV.2.2.4.5.5.1 Distribución y composición de especies

Se registraron 6 grupos de invertebrados en los 3 bancos de arena incluidos en el área de estudio, siendo estos anélidos, anémonas, crustáceos, equinodermos, esponjas y moluscos. Se registró un total de 13 especies de invertebrados, pertenecientes a 12 géneros y 12 familias. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 7 especies presentes. La mayor cantidad de especies registradas fue 8 y se registró en L/a+g, perteneciente al Banco C.

**Tabla 53.** Presencia y abundancia relativa de otros invertebrados los bancos para extracción de arena. Dominante (D) = >20%; Abundante (A) = 10-20%; Común (C) = 5-10%; Escasa (E) = 1-5% y Rara (R) = < 1%.

Grupo	Familia	Género	Especie	Banco A	Banco B		Banco C		
				As	L/a+g	Pmix	L/s	L/a+g	Pmix
Anélido	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>			1		1	
Anémona	Aiptasiidae	<i>Bartholomea</i>	<i>lucida</i>					1	
Crustáceo	Palinuridae	<i>Panulirus</i>	<i>argus</i>		1				
Equinodermo	Oreasteridae	<i>Oreaster</i>	<i>reticulatus</i>					1	
Esponja	Axinellidae	<i>Ptilocaulis</i>	<i>sp.</i>						
	Clionaidae	<i>Cliona</i>	<i>caribbaea</i>		1				
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>		1				
	Irciniidae	<i>Ircinia</i>	<i>felix</i>		1				
			<i>strobilina</i>					1	
	Niphatidae	<i>Amphimedon</i>	<i>compressa</i>		1				1
Thorectidae	<i>Hyrrios</i>	<i>violaceus</i>						1	
Molusco	Conidae	<i>Conus</i>	<i>sp</i>						1
	Strombidae	<i>Lobatus</i>	<i>gigas</i>				1	1	
<b>Total</b>				<b>0</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>0</b>

**Tipos de ambientes:** **As** = Arenal somero; **L/a** = Laja con algas; **L/a+g** = Laja con algas y gorgonáceos; **L/s** = Laja con sedimentos; **L/s+a** = Laja con sedimentos y algas; **Pmix** = Pastizal mixto; **R/a** = Rocas con algas.

#### IV.2.2.5 Especies de interés particular

Se encontraron 6 especies bajo la categoría “Sujetas a Protección especial” (Pr) y una Amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo normativo III (DOF, 14/11/2019). Cabe mencionar respecto a este último documento, que en su artículo único transitorio menciona que dicha modificación “...entrará en vigor a los sesenta días naturales posteriores a su publicación en el Diario Oficial de la Federación”. No obstante, dado que se identificaron especies en el SAR citadas en este documento, se consideró en la revisión de las especies de importancia y serán asimismo incluidas en la implementación de las medidas propuestas para su protección.

**Tabla 54.** Especies presentes en el área de estudio que se encuentran en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación del anexo III de la misma.

TAXA	Especie	Nivel de protección	Tipos de ambientes en los que se encuentran presentes y su abundancia.
Pastos marinos	<i>*Syringodium filiforme</i>	A	Presente en el SAR en el tipo de ambiente pastizal mixto. ESTRUCTURA E2 (escasa), E3 y E4 (dominante) (Lluvias)
	<i>*Thalassia testudinum</i>	Pr	Presente en el SAR en el tipo de ambiente pastizal mixto. ESTRUCTURA E1 (común), E2, E3 y E4 (abundante) (Lluvias)
Gorgonáceos	<i>Plexaura homomalla</i>	Pr	ESTRUCTURA: E4 abundancia Rara (secas).
	<i>Plexaurella dichotoma</i>	Pr	AMBIENTE: Pastizal mixto, abundancia Rara (lluvias). Laja con algas y gorgonáceos, abundancia Rara (secas).
Peces	<i>Scarus iseri</i>	Pr	(E4 (común).
	<i>Sparisoma radians</i>	Pr	Banco B (dominante), Banco C (escaso), E1, E2 y E4 (común), E3, (abundante).
	<i>Sparisoma viridae</i>	Pr	Banco B, Banco C observado fuera del transecto. E1 (común), E4 (escaso).

**\*Cabe señalar que debido a que la afectación a los pastos marinos era alta como se registró en la época de lluvias, la posición de las estructuras de protección costera se modificó y por ello en la época de secas ya no se registró la presencia de pastos marinos en ninguno de los sitios propuestos para la instalación de las estructuras de protección.**

#### IV.2.2.6. Análisis General de la caracterización biológica en el Sistema Ambiental Regional.

A partir de los muestreos realizados en época de lluvias y secas antes descritos, se realizó el análisis conjunto de los datos obtenidos en ambos periodos de muestreo con el fin de tener el panorama general de la biota existente en el área. El análisis se realizó para el SAR y los sitios donde se pretende la instalación de los arrecifes artificiales.

El análisis general de la comunidad de organismos arrecifales se realizó considerando los mismos grupos taxonómicos analizados anteriormente. Para estos grupos se determinó la abundancia y diversidad, además de formas de crecimiento, estructura de tallas, condición del organismo y grupos funcionales para los organismos en los que estos parámetros son importantes siguiendo la misma metodología que fue descrita previamente.

#### **IV.2.2.6.1 Caracterización biológica general en el SAR.**

##### **IV.2.2.6.1.1 Escleractinios (corales duros)**

###### **IV.2.2.6.1.1.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.**

Dentro del SAR, se registraron 14 especies de corales distribuidas en 7 familias y 10 géneros, de las cuales dos se registraron fuera del transecto de muestreo. De las especies observadas, *Siderastrea radians* fue la especie dominante con una abundancia mayor al 20 %. Las especies *Pseudodiploria clivosa*, *Manicina areolata* y *Montastraea cavernosa* fueron abundantes al presentar una frecuencia entre el 10% y 20 % en el área, mientras *Siderastra sideraea* y *Porites astreoides* registraron una abundancia entre el 5% y 10%. *S. radians* fue la especie que mostró un porcentaje de cobertura mayor al resto (0.074 %) siguiéndole en menor medida *Pseudodiploria clivosa* (0.026 %), *Manicina areolata* (0.021%) y *Montastraea cavernosa* (0.024 %). El porcentaje de cobertura coralina total en el SAR fue muy baja con un 0.0046 %. La diversidad de corales en el SAR fue de  $H' = 1.9298$ , con una equitabilidad de  $J' = 0.7313$ . Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 55.** Listado de especies y abundancia relativa de CORALES ESCLERACTINIOS para el SAR para el proyecto “Conservación y Rehabilitación de la Playa a través de Arrecifes Artificiales. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).\* Especies observadas en el sitio fuera del transecto de muestreo.  $H'$  = índice de diversidad de Shanon-Wiener (nits/ind),  $J'$  = Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, C= Cobertura (%).

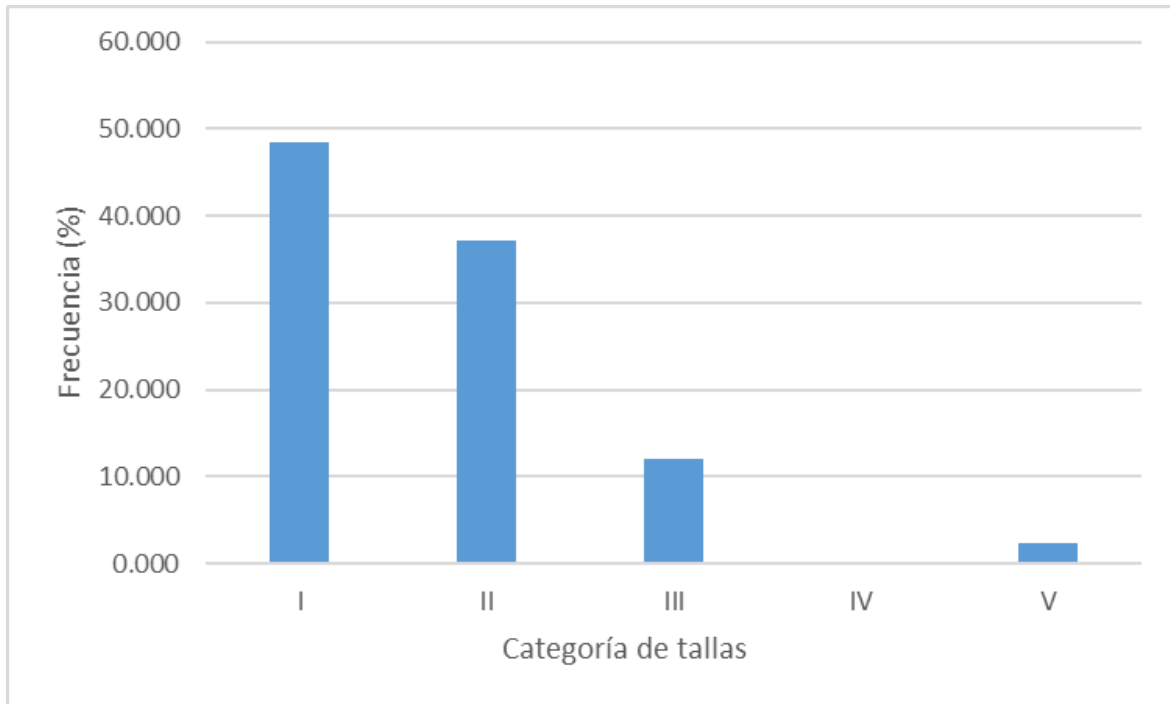
<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Abundancia</b>	<b>C (%)</b>
Agariciidae	<i>Agaricia</i>	<i>agaricites</i>	R	0.00191
Astrocoeniinae	<i>Stephanocoenia</i>	<i>michelinii</i>	E	0.00229

Familia	Género	Especie	Abundancia	C (%)
Faviidae	<i>Cladocora</i>	<i>arbuscula</i>	E	0.00574
	<i>Pseudodiploria</i>	<i>clivosa</i>	A	0.02600
		<i>strigosa</i>	*	*
	<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>	A	0.02103
	<i>Montastraea</i>	<i>cavernosa</i>	A	0.02486
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>	R	0.00153
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>	E	0.00268
		<i>complanata</i>	*	*
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>	C	0.01491
		<i>porites</i>	E	0.00497
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>	D	0.07457
		<i>sideraea</i>	C	0.01759
			<b>R</b>	<b>14</b>
			<b>H'</b>	<b>1.9298</b>
			<b>J'</b>	<b>0.7313</b>
			<b>C (%)</b>	<b>0.0046</b>

#### IV.2.2.6.1.1.2 Estructura de tallas

De las cinco categorías de talla consideradas, en el SAR se registraron únicamente cuatro de ellas. Los peces pequeños menores a 5 cm fueron los más abundantes aportando el 48.48 % de la frecuencia total, siguiéndole los de la categoría II con el 37.12 %. Los peces medianos (categoría III) y los peces grandes (categoría V) fueron los menos abundantes presentando un 12.12 % y un 2.27 % respectivamente como se muestra en la siguiente figura.

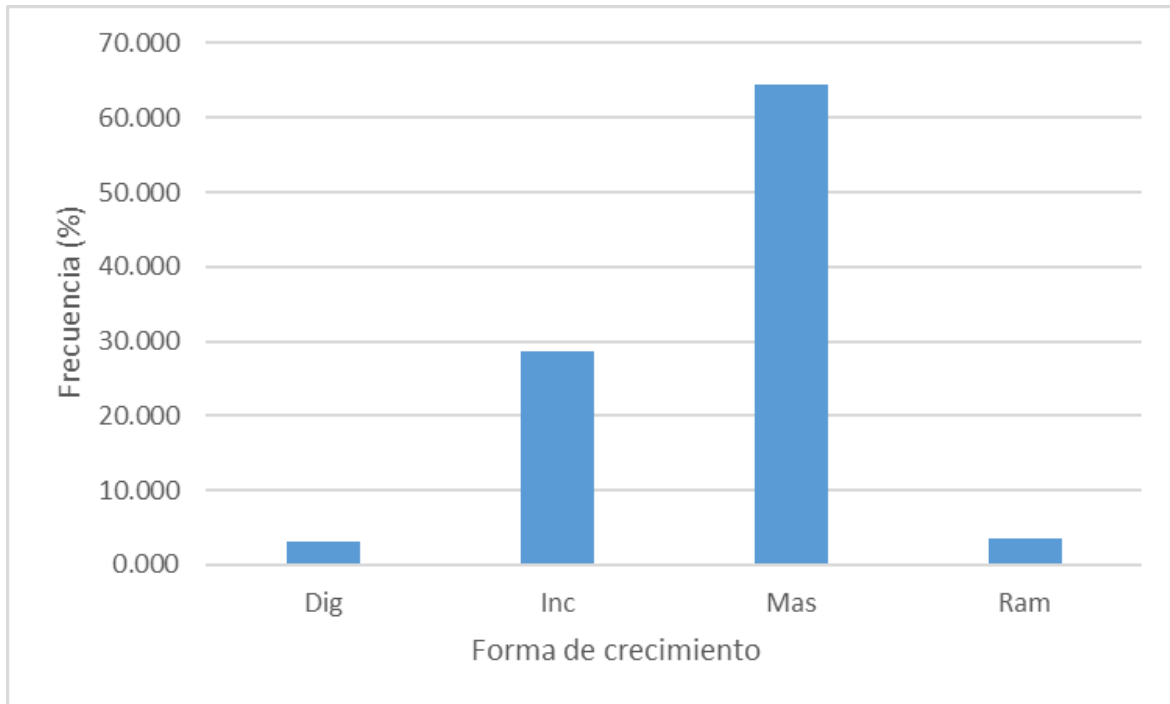




**Figura 200.** Estructura de tallas para CORALES ESCLERACTINIOS en el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. I <5 cm, II=5-10 cm, III=10-20 cm, IV=20-40 cm, V> 40 cm de diámetro.

#### IV.2.2.6.1.1.3 Formas de crecimiento

Dentro del SAR del proyecto se observaron cuatro formas de crecimiento coralino. Las colonias con crecimiento masivo aportaron el 64.51% y las incrustantes el 28.71% de la frecuencia total. Las colonias digitiformes y ramificadas fueron las menos representadas al aportar 3.22 % y 3.54 % respectivamente. La frecuencia de las distintas formas de crecimiento observadas en el SAR se muestra en la siguiente figura.



**Figura 201.** Formas de crecimiento para CORALES ESCLERACTINIOS en el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. Dig=Digitiforme, Inc=Incrustante, Mas=Masiva, Ram=Ramificado.

#### IV.2.2.6.1.2 Gorgonáceos (Corales blandos)

##### IV.2.2.6.1.2.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.

A través del muestreo realizado, en el SAR se registraron 3 familias, 10 géneros y 18 especies de corales blandos de las cuales *Pterogorgia anceps* fue la especie dominante presentando más del 20 % de abundancia relativa. *Muriceopsis flavida* y *Gorgonia mariae* fueron especies abundantes (10-20 %) y *Pseudoterogorgia acerosa*, común (5-10%). El resto de las especies presentaron abundancias relativas muy bajas (<5%). Se estimó una densidad de 1.0180 ind/m<sup>2</sup>, una diversidad de  $H' = 2.1788$  y una quitabilidad de  $J' = 0.7538$  como se observa en la siguiente tabla.

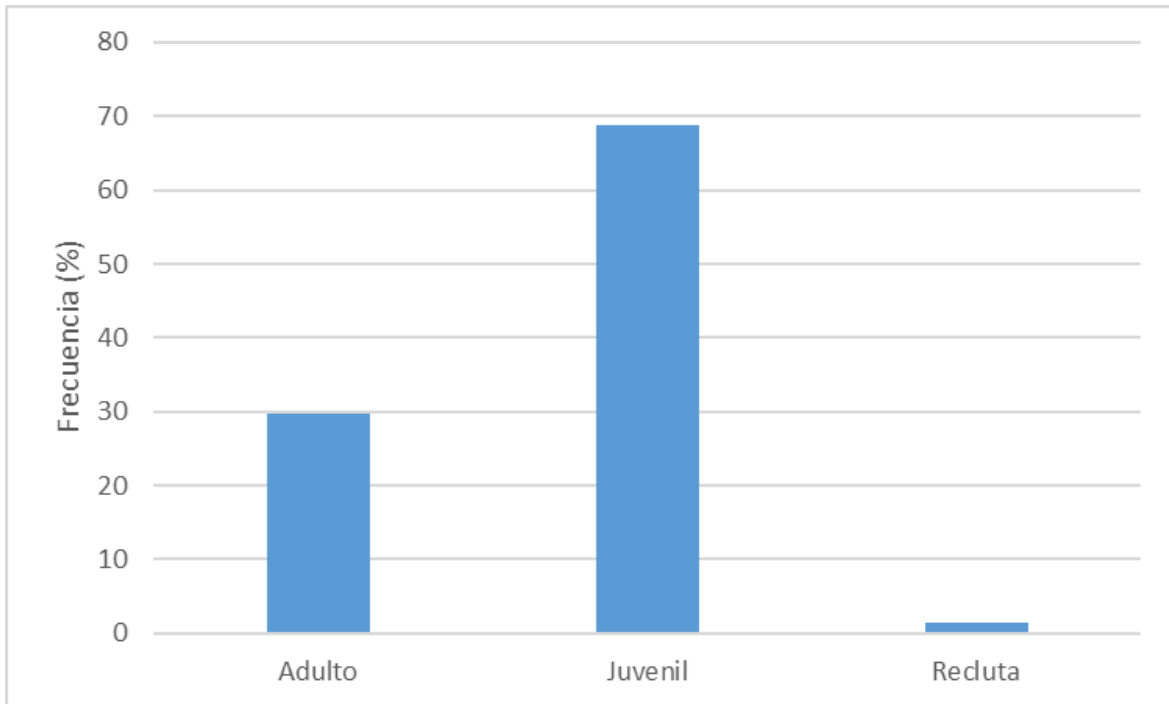
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 56.** Listado de especies y abundancia relativa de GORGONÁCEOS para el SAR del proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%). H´= índice de diversidad de Shannon-Wiener (nits/ind), J´= Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, D= densidad (ind/m<sup>2</sup>).

Familia	Género	Especie	Abundancia
Briareidae	<i>Briareum</i>	<i>asbestinum</i>	R
Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i>	<i>flabellum</i>	R
		<i>mariae</i>	A
	<i>Pseudopterogorgia</i>	<i>acerosa</i>	C
		<i>americana</i>	E
	<i>Pterogorgia</i>	<i>anceps</i>	D
		<i>citrina</i>	E
		<i>guadalupensis</i>	E
Plexauridae	<i>Eunicea</i>	<i>calyculata</i>	R
		<i>laxispica</i>	R
		<i>mammosa</i>	E
		<i>tourneforti</i>	R
	<i>Muricea</i>	<i>muricata</i>	E
	<i>Muriceopsis</i>	<i>flavida</i>	A
	<i>Plexaura</i>	<i>flexuosa</i>	R
	<i>Plexaurella</i>	<i>dichotoma</i>	R
		<i>nutans</i>	E
<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>	R	
		<b>R</b>	<b>18</b>
		<b>H´</b>	<b>2.1788</b>
		<b>J´</b>	<b>0.7538</b>
		<b>D (ind/m<sup>2</sup>)</b>	<b>1.0180</b>

**IV.2.2.6.1.2.2 Estructura de tallas.**

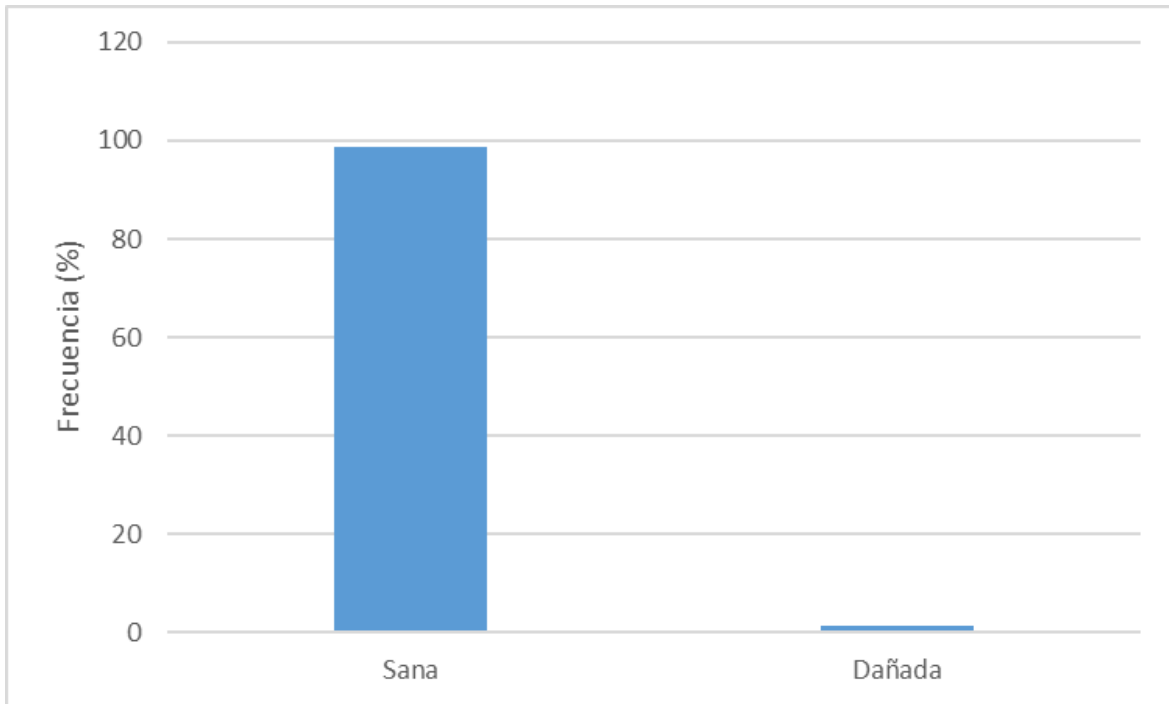
Las tallas registradas con mayor frecuencia fueron los juveniles (68.84 %) y en menor grado los adultos (29.68 %), y aunque se observaron reclutas, éstos aportaron únicamente el 1.46 % a la frecuencia total como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 202.** Frecuencia de estructura de tallas para GORGONACEOS en el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas.

**IV.2.2.6.1.2.3 Condición del organismo.**

Los gorgonáceos registrados en el SAR presentaron sólo algunos individuos con daño por el sobrecrecimiento de algas representando sólo el 1.28 % de la frecuencia, por lo que la mayoría de los individuos se observaron en buenas condiciones y sin daño en tejido (98.71 %) como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 203.** Condición del organismo para GORGONACEOS en el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. Sana = colonia sin tejido dañado, Daño = presenta algún tipo de afectación.

#### IV.2.2.6.1.3 Ictiofauna (peces arrecifales)

##### IV.2.2.6.1.3.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.

Respecto a la ictiofauna, se registró una elevada riqueza específica con 57 especies de peces arrecifales, distribuidas en 20 familias y 35 géneros. De estas especies, 5 se observaron fuera del transecto de muestreo. *Halichoeres bivittatus* fue la especie dominante al presentar más del 20 % de abundancia relativa, mientras *Haemulon flavolineatum* y *Thalassoma bifasciatum* fueron especies abundantes (10 a 20 %). La diversidad en este grupo taxonómico fue de  $H' = 2.5153$  y la equitabilidad de  $J' = 0.6221$  debido a la diferencia en las abundancias. En el SAR se presentó una densidad de 0.5361 ind/m<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 57.** Listado de especies y abundancia relativa de PECES ARRECIFALES para el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%). H´= índice de diversidad de Shanon-Wiener (nits/ind), J´= Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, D= densidad (ind/m<sup>2</sup>).

Familia	Género	Especie	Abundancia
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>chirurgus</i>	E
		<i>coeruleus</i>	E
Carangidae	<i>Caranx</i>	<i>crysos</i>	R
		<i>ruber</i>	E
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>capistratus</i>	E
		<i>ocellatus</i>	*
		<i>striatus</i>	R
Diodontidae	<i>Diodon</i>	<i>holocantus</i>	R
	<i>Diodon</i>	<i>hystrix</i>	*
Gerreidae	<i>Gerres</i>	<i>cinereus</i>	R
Gobiidae	<i>Ctenogobius</i>	<i>saepepallens</i>	R
	<i>Elacantinus</i>	<i>prochilos</i>	R
	<i>Gnatholepis</i>	<i>cauerensis</i>	R
Haemulidae	<i>Anisotremus</i>	<i>surinamensis</i>	R
	<i>Haemulon</i>	<i>carbonarium</i>	E
		<i>flavolineatum</i>	A
		<i>macrostomum</i>	R
		<i>plumieri</i>	E
		<i>sciurus</i>	R
Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>rufus</i>	R
	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>	D
		<i>garnoti</i>	R
		<i>maculipinna</i>	R
		<i>pictus</i>	R
		<i>poeyi</i>	E
		<i>radiatus</i>	R
	<i>Lachnolaimus</i>	<i>maximus</i>	R
	<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>	A
	<i>Xyrichtys</i>	<i>martinicensis</i>	R

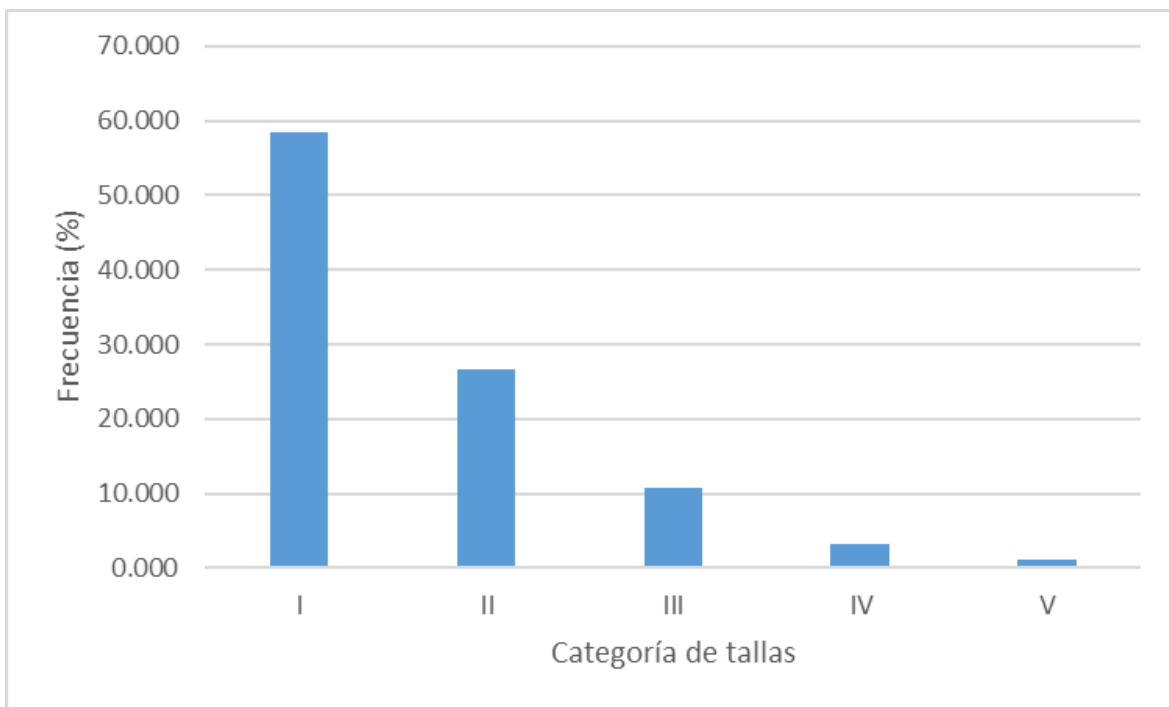


## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Familia	Género	Especie	Abundancia
Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	<i>analis</i>	R
	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>	R
Malacanthidae	<i>Malacanthus</i>	<i>plumieri</i>	R
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>	E
Muraenidae	<i>Gymnothorax</i>	<i>miliaris</i>	*
Ostraciidae	<i>Lactophrys</i>	<i>trigonos</i>	R
Pomacanthidae	<i>Holocanthus</i>	<i>ciliaris</i>	R
		<i>tricolor</i>	*
	<i>Pomacanthus</i>	<i>arcuatus</i>	R
	<i>Pomacanthus</i>	<i>paru</i>	R
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	<i>saxantilis</i>	R
	<i>Microspathodon</i>	<i>chrysurus</i>	R
	<i>Stegastes</i>	<i>adustus</i>	R
	<i>Stegastes</i>	<i>diencaeus</i>	R
		<i>leucosticus</i>	R
		<i>partitus</i>	E
		<i>variabilis</i>	R
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>	E
	<i>Scorpaena</i>	<i>plumieri</i>	R
	<i>Sparisoma</i>	<i>aurofrenatum</i>	R
		<i>chrysopterum</i>	R
		<i>radians</i>	E
		<i>rubripinne</i>	R
		<i>viride</i>	E
Scianidae	<i>Pareques</i>	<i>acuminatus</i>	R
Scorpaenidae	<i>Pterois</i>	<i>volitans</i>	*
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>	E
Urobatidae	<i>Urobatis</i>	<i>jamaicensis</i>	R
		<b>R</b>	<b>57</b>
		<b>H'</b>	<b>2.5153</b>
		<b>J'</b>	<b>0.6221</b>
		<b>D(ind/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0.5361</b>

**IV.2.2.6.1.3.2 Estructura de tallas.**

Las cinco categorías de talla para la ictiofauna fueron observadas en el SAR. Los peces pequeños de las categorías I (58.41 %) y II ( 26.60 %) fueron los más abundantes aportando en conjunto el 85.02 % de la frecuencia observada. Los peces medianos (categoría III) representaron el 10.69 % de los registros y los peces más grandes de las categorías IV (3.13 %) y V (1.14 %), sólo el 4.28 %.

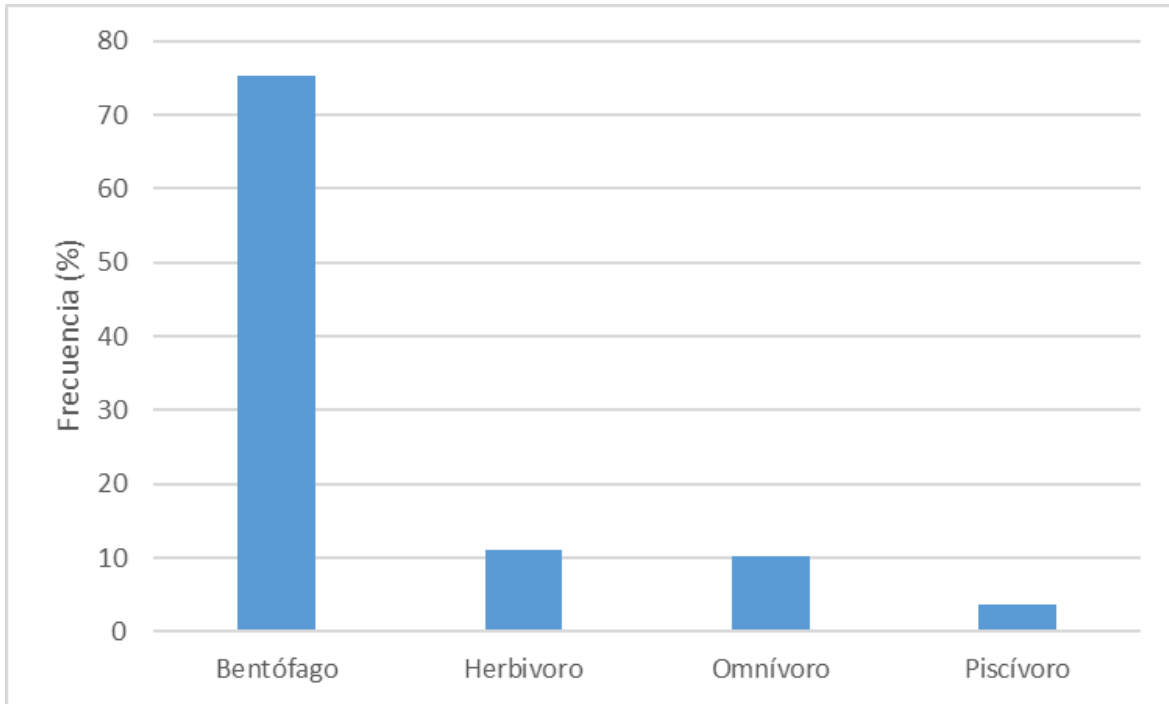


**Figura 204.** Estructura de tallas para PECES ARRECIFALES para el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. I <5 cm, II=5-10 cm, III=10-20 cm, IV=20-30, V>25 cm de longitud.

**IV.2.2.6.1.3.3 Grupos funcionales.**

Se identificaron cuatro grupos tróficos, de los cuales, los peces bentófagos fueron dominantes presentando una mayor frecuencia con un valor de 75.21 %. El resto de los grupos aportó porcentajes menores. Los peces herbívoros tuvieron el 11.03 % de

la frecuencia, los omnívoros el 10.11 % y los piscívoros el 3.63 % como se observa en la siguiente figura.



**Figura 205.** Grupos tróficos para PECES ARRECIFALES en el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas.

#### IV.2.2.6.1.4 Vegetación marina (Macroalgas y Pastos marinos)

##### IV.2.2.6.1.4.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.

La riqueza específica en la vegetación marina fue alta al presentar 76 especies distribuidas en 40 géneros. La división Chlorophyta (algas verdes) fue el grupo que presentó un mayor número de especies (39). Dentro de los grupos considerados, la mayoría de las especies se registraron con una abundancia muy baja (menor al 5%) siendo escasas o raras, sin existir especies dominantes (abundancia mayor al 20 %). Sólo tres especies presentaron entre el 10 y 20 % de la frecuencia observada: los pastos marinos *Syringodium filiforme* y *Thalassia testudinum* y el alga roja *Dasya ocellata*, especies que asimismo obtuvieron el mayor porcentaje de cobertura. La

diversidad para este grupo fue de  $H' = 3.1365$  y la equitabilidad de  $J' = 0.7242$ . El porcentaje de cobertura vegetal fue de 49.86 %, resultados mostrados en la tabla siguiente.

**Tabla 58.** Listado de especies y abundancia relativa de la VEGETACIÓN MARINA para el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).  $H'$  = índice de diversidad de Shanon-Wiener (nits/ind),  $J'$  = Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, C= porcentaje de cobertura.

División	Género	Especie	Abundancia	C (%)
Chlorophyta	Acetabularia	<i>crenulata</i>	R	0.0900
		<i>sp.</i>	R	0.0386
	Avrainvillea	<i>asarifolia</i>	E	0.5016
		<i>fibrosa</i>	R	0.0514
		<i>longicaulis</i>	R	0.1029
	Caulerpa	<i>cupressoides</i>	R	0.1415
		<i>mexicana</i>	R	0.4502
		<i>paspaloides</i>	R	0.0257
		<i>prolifera</i>	E	1.5305
		<i>racemosa</i>	R	0.0257
		<i>sertulariodes</i>	R	0.0129
		<i>verticillata</i>	R	0.0514
		<i>Codium</i>	<i>repens</i>	R
	<i>Dasycladus</i>	<i>vermicularis</i>	E	0.5145
	<i>Derbesia</i>	<i>sp.</i>	E	1.4405
	<i>Dictyosphaeria</i>	<i>cavernosa</i>	R	0.1158
	<i>Enteromorpha</i>	<i>sp.</i>	R	0.1158
	<i>Halimeda</i>	<i>discoidea</i>	R	0.3859
		<i>goreaui</i>	R	0.0386
		<i>gracilis</i>	R	0.3987
		<i>incrassata</i>	C	3.1383
		<i>lacrimosa</i>	R	0.2315
		<i>monile</i>	R	0.0257
<i>opuntia</i>		R	0.4116	
	<i>scabra</i>	R	0.2572	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

División	Género	Especie	Abundancia	C (%)
		<i>tuna</i>	E	2.0579
	<i>Neomeris</i>	<i>anulata</i>	R	0.0900
	<i>Penicillus</i>	<i>capitatus</i>	R	0.3344
		<i>dumetosus</i>	E	1.1961
		<i>lamourouxii</i>	R	0.1158
		<i>pyriformis</i>	R	0.0386
	<i>Rhipilia</i>	<i>tomentosa</i>	E	1.3633
	<i>Rhipocephalus</i>	<i>phoenix</i>	E	1.7492
	<i>Udotea</i>	<i>cyathiformis</i>	E	1.0289
		<i>fibrosa</i>	E	1.1061
		<i>flabellum</i>	R	0.0257
		<i>occidentalis</i>	R	0.0257
		<i>wilsoni</i>	R	0.0257
	<i>Valonia</i>	<i>macrophysa</i>	R	0.0257
Phaeophyta	<i>Dictyopteris</i>	<i>justii</i>	R	0.0514
	<i>Dictyota</i>	<i>bartayresiana</i>	R	0.0129
		<i>caribaea</i>	R	0.4759
		<i>cervicornis</i>	R	0.0900
		<i>crenulata</i>	R	0.3344
		<i>crispata</i>	R	0.0643
		<i>menstrualis</i>	R	0.0129
		<i>pinnatifida</i>	R	0.0643
		<i>pulchella</i>	R	0.1543
	<i>Hypnea</i>	<i>cervicornis</i>	R	0.1158
	<i>Lobophora</i>	<i>variegata</i>	R	0.2701
	<i>Sargassum</i>	<i>fluitans</i>	E	0.6688
		<i>natans</i>	R	0.0129
		<i>platicarpum</i>	R	0.0129
<i>polyceratium</i>		R	0.0257	
<i>Styopodium</i>	<i>zonale</i>	R	0.0129	
<i>Turbinaria</i>	<i>turbinata</i>	R	0.0257	
Rhodophyta	<i>Acanthophora</i>	<i>spicifera</i>	E	0.7588
	<i>Amphiroa</i>	<i>fragilissima</i>	R	0.0129
		<i>rigida</i>	R	0.2058
	<i>Asparagopsis</i>	<i>taxiformis</i>	R	0.0386

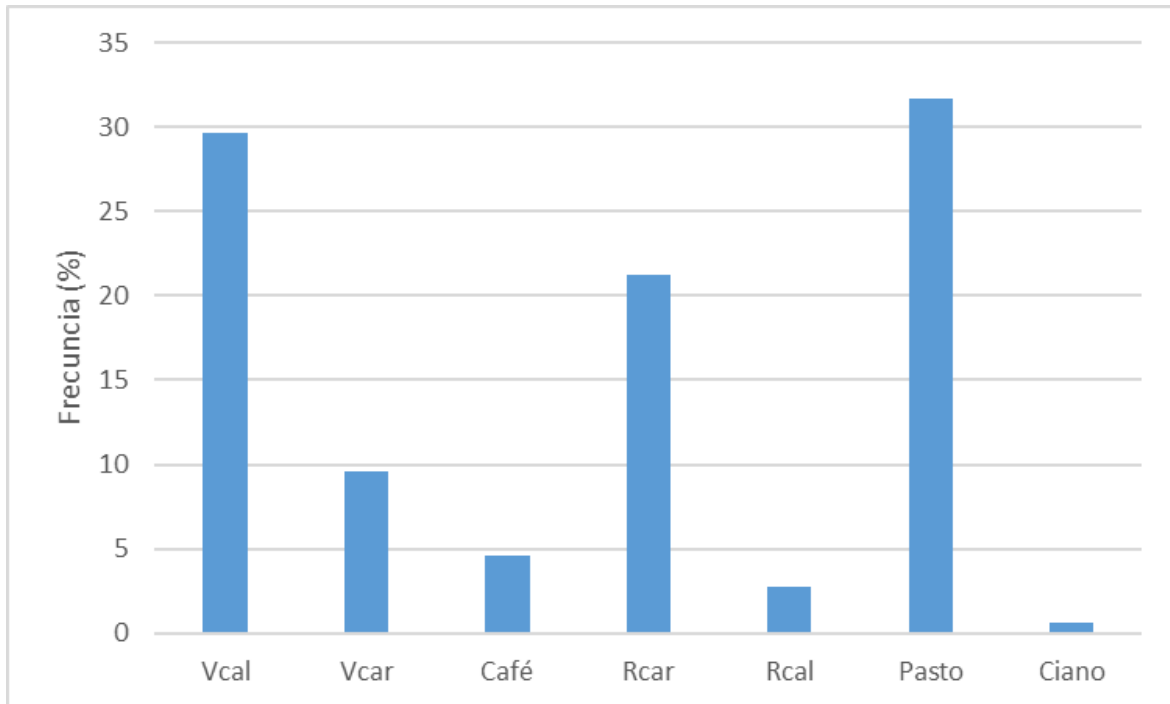
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

División	Género	Especie	Abundancia	C (%)
	<i>Bryothamnion</i>	<i>triquetrum</i>	R	0.2701
	<i>Ceramium</i>	<i>nitens</i>	R	0.0772
	<i>Chondria</i>	<i>sp.</i>	R	0.1286
	<i>Dasya</i>	<i>harveyi</i>	E	1.4277
	<i>Dasya</i>	<i>ocellata</i>	A	5.5563
	<i>Galaxaura</i>	<i>sp.</i>	R	0.0900
	<i>Gracilaria</i>	<i>sp.</i>	R	0.0257
	<i>Halymenia</i>	<i>sp.</i>	R	0.0257
	<i>Heterosiphonia</i>	<i>gibbesi</i>	E	0.8489
	<i>Hypnea</i>	<i>cervicornis</i>	R	0.2315
	<i>Laurencia</i>	<i>papillosa</i>	E	1.1447
		<i>poiteaui</i>	E	0.9132
	<i>Liagora</i>	<i>sp.</i>	R	0.0643
Magnoliophyta	<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>	A	9.6720
	<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>	A	6.1350
Cyanobacteria	<i>Lyngbya</i>	<i>sp.</i>	R	0.3087
			<b>R</b>	<b>76</b>
			<b>H´</b>	<b>3.1365</b>
			<b>J´</b>	<b>0.7242</b>
			<b>C (%)</b>	<b>49.8649</b>

### IV.2.2.6.1.4.2 Grupos funcionales.

El análisis de grupos funcionales para macroalgas muestra una abundancia mayor de pastos marinos (31.69 %), algas verdes calcáreas (29.61 %) y en menor grado de algas rojas carnosas (21.20 %) que en conjunto aportan el 82.51 % de la frecuencia total. Las algas verdes carnosas, las algas cafés, y las cianofitas estuvieron presentes en baja abundancia con valores de 9.54 %, 4.61% y 0.62 %, respectivamente (Figura siguiente).





**Figura 206.** Grupos funcionales para VEGETACIÓN MARINA en el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. Vcar=Clorofitas carnosas, Vcal=Clorifitas calcáreas, Rcar=Rodofitas carnosas, Rcal=Rodofitas calcáreas, Café=Feofitas, Pasto=Magnoliofitas, Ciano=Cianobacterias

#### IV.2.2.6.1.5 Otros invertebrados.

##### IV.2.2.6.1.5.1 Riqueza y composición de especies.

Respecto a otros invertebrados, en el SAR se registraron 45 especies distribuidas en 38 familias y 40 géneros. Se registraron organismos pertenecientes a siete grupos distintos, de los cuales las esponjas fueron las más abundantes con 18 especies presentes.

**Tabla 59.** Listado de especies de INVERTEBRADOS para el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas.

Grupo	Familia	Género	Especie
Anélido	Amphinomidae	<i>Hermodice</i>	<i>carunculata</i>
	Sabellidae	<i>Bispira</i>	<i>brunnea</i>
	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>
Anémona	Actiniidae	<i>Condylactis</i>	<i>gigantea</i>
	Aiptasiidae	<i>Bartholomea</i>	<i>lucida</i>
	Stichodactylidae	<i>Stichodactyla</i>	<i>helianthus</i>
Coralimorfo	Ricordeidae	<i>Ricordea</i>	<i>florida</i>
Crustáceo	Diogenidae	<i>Paguristes</i>	<i>sp</i>
	Inachidae	<i>Stenorhynchus</i>	<i>seticornis</i>
	Palaemonidae	<i>Periclimenes</i>	<i>yucatanicus</i>
	Palinuridae	<i>Panulirus</i>	<i>argus</i>
Equinodermo	Cidaridae	<i>Eucidaris</i>	<i>tribuloides</i>
	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>antillarum</i>
	Echinometridae	<i>Echinometra</i>	<i>viridis</i>
	Oreasteridae	<i>Oreaster</i>	<i>reticulatus</i>
	Toxopneustidae	<i>Tripneustes</i>	<i>ventricosus</i>
Esponja	Agelasidae	<i>Agelas</i>	<i>clathrodes</i>
	Aplysinidae	<i>Aplysina</i>	<i>fistularis</i>
		<i>Aplysina</i>	<i>fulva</i>
		<i>Aplysina</i>	<i>cauliformis</i>
	Axinellidae	<i>Dragmacidon</i>	<i>sp</i>
		<i>Ptilocaulis</i>	<i>sp</i>
	Callyspongiidae	<i>Callyspongia</i>	<i>plicifera</i>
		<i>Callyspongia</i>	<i>vaginalis</i>
	Clathrinidae	<i>Clathrina</i>	<i>canariensis</i>
	Clionaidae	<i>Cliona</i>	<i>caribbaea</i>
		<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>
	Crambeidae	<i>Monanchora</i>	<i>arbuscula</i>
	Desmacididae	<i>Desmapsamma</i>	<i>anchorata</i>
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>
	Lotrochotidae	<i>lotrochota</i>	<i>birotulata</i>
	Irciniidae	<i>Ircinia</i>	<i>strobilina</i>
		<i>Ircinia</i>	<i>campana</i>
<i>Ircinia</i>		<i>felix</i>	
Niphatidae	<i>Amphimedon</i>	<i>compressa</i>	
	<i>Niphates</i>	<i>digitalis</i>	

Grupo	Familia	Género	Especie
	Pseudoceratinidae	<i>Pseudoceratina</i>	<i>crassa</i>
	Tedaniidae	<i>Tedania</i>	<i>ignis</i>
	Thorectidae	<i>Hyrrios</i>	<i>violaceus</i>
Molusco	Cassidae	<i>Cassis</i>	<i>sp</i>
	Cerithiidae	<i>Cerithium</i>	<i>sp</i>
	Conidae	<i>Conus</i>	<i>sp</i>
	Ovulidae	<i>Cyphoma</i>	<i>gibbosum</i>
	Ranellidae	<i>Charonia</i>	<i>variegata</i>
	Strombidae	<i>Strombus</i>	<i>gigas</i>

#### IV.2.2.6.2 Caracterización biológica general del área programada para instalación de las estructuras de protección costera.

##### IV.2.2.6.2.1 Corales duros (escleractinios)

##### IV.2.2.6.2.1.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.

En el área de pretendida ubicación de las estructuras de protección costera se observaron 9 especies en total pertenecientes a 6 familias y 7 géneros. La diversidad total ( $H'$ ) se estimó en 1.3121, la equitabilidad ( $J'$ ) en 0.5972 y la cobertura coralina en 0.6344 %.

Los sitios E2 y E3 presentaron el mayor número de especies de manera particular (5) y E1, ubicado en la parte norte del SAR, el número más bajo (3). La diversidad y la equitabilidad no presentaron el mismo comportamiento ya que se observó una gradación desde E1 hasta E4, siendo este último el que presentó los valores mayores ( $H' = 1.4080$  y  $J' = 1.01$ ).

El porcentaje de cobertura coralina fue diferencial entre los sitios, observándose el mayor porcentaje en E2 con un valor de 0.2159%, siguiéndole E1 con 0.1907 %.

*Siderastrea radians* fue la especie que presentó una abundancia relativa mayor al 20 % de la frecuencia registrada, tanto para cada sitio como de manera global. Esta dominancia fue compartida con otras especies de manera particular en los sitios E2, (*Manicina areolata*), E3 (*Siderastrea sideraea*) y E4 (*Siderastrea sideraea* y *Porites astreoides*) como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 60.** Listado de especies y abundancia relativa de CORALES para el SAR para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%). H´= índice de diversidad de Shanon-Wiener (nits/ind), J´= Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, C= porcentaje de cobertura.

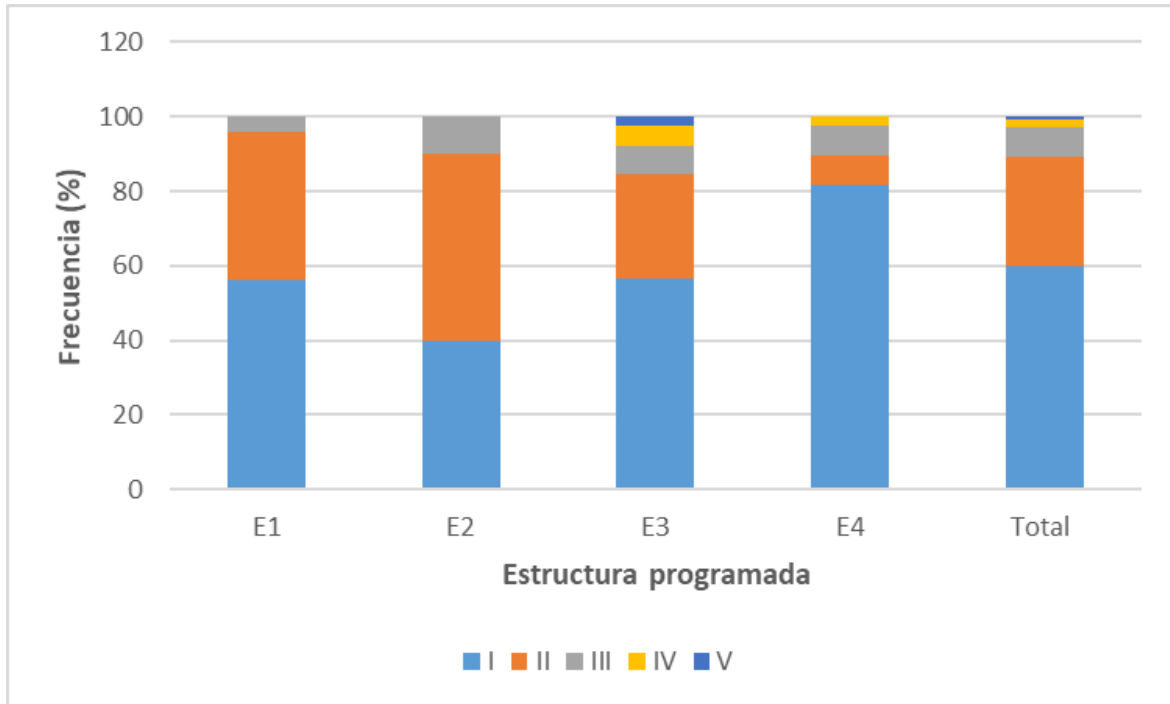
Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4	Total	
Astrocoeniinae	<i>Stephanocoenia</i>	<i>melinii</i>			E		E	
Faviidae	<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>	*	D	C	E	E	
	<i>Pseudodiploria</i>	<i>strigosa</i>		*	A		E	
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>				*	*	
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>	*	*		D	E	
		<i>porites</i>		E			R	
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>	D	D	D	D	D	
		<i>sideraea</i>	E	A	D	D	A	
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>	C	C		C	E	
			<b>R</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>9</b>
			<b>H´</b>	<b>0.3588</b>	<b>1.2947</b>	<b>1.3121</b>	<b>1.4080</b>	<b>1.3121</b>
			<b>J´</b>	<b>0.3266</b>	<b>0.8045</b>	<b>0.8153</b>	<b>1.0157</b>	<b>0.5972</b>
			<b>C (%)</b>	<b>0.1907</b>	<b>0.0954</b>	<b>0.2159</b>	<b>0.1232</b>	<b>0.6344</b>

#### IV.2.2.6.2.1.2 Estructura de tallas.

En el análisis global del área de pretendida ubicación de las estructuras, se observaron cinco categorías de talla, siendo los peces de tamaño pequeño de las categorías I y II los que dominaron en el área y presentaron una mayor abundancia con valores de 59.85 % y 29.55 % respectivamente, aportando en conjunto el 89.39 %. Las categorías III (7.58 %), IV (2.27%) y V(0.76 %) fueron las tallas menos abundantes.

En los sitios E1, E2 y E3, las categorías I y II fueron dominantes, mientras en los sitios E3 y E4, la categoría uno fue la que presentó una mayor frecuencia respecto al resto. En E1 se registraron sólo tres categorías de tallas (I, II y III). La categoría I aportó el 56%, la categoría II el 40 % y la categoría III el 4 %. En E2 se registraron asimismo tres categorías de talla en donde los peces pequeños de la categoría I (40%) y de la categoría II (50%) aportaron el 90 % de la abundancia registrada. En el sitio E3, se registró el espectro completo; los peces pequeños entre 1 y 5 cm

(categoría I) aportaron el 56.41 %, los que presentaron una talla entre 5 y 10 cm el 28.21 %, los que se ubicaron entre 10 y 20 cm el 7.69 % y los peces de mayor tamaño (Categorías IV y V) el 7.69 % restante. El sitio E4 fue dominado por peces de la categoría I con una contribución de 81.58 %.



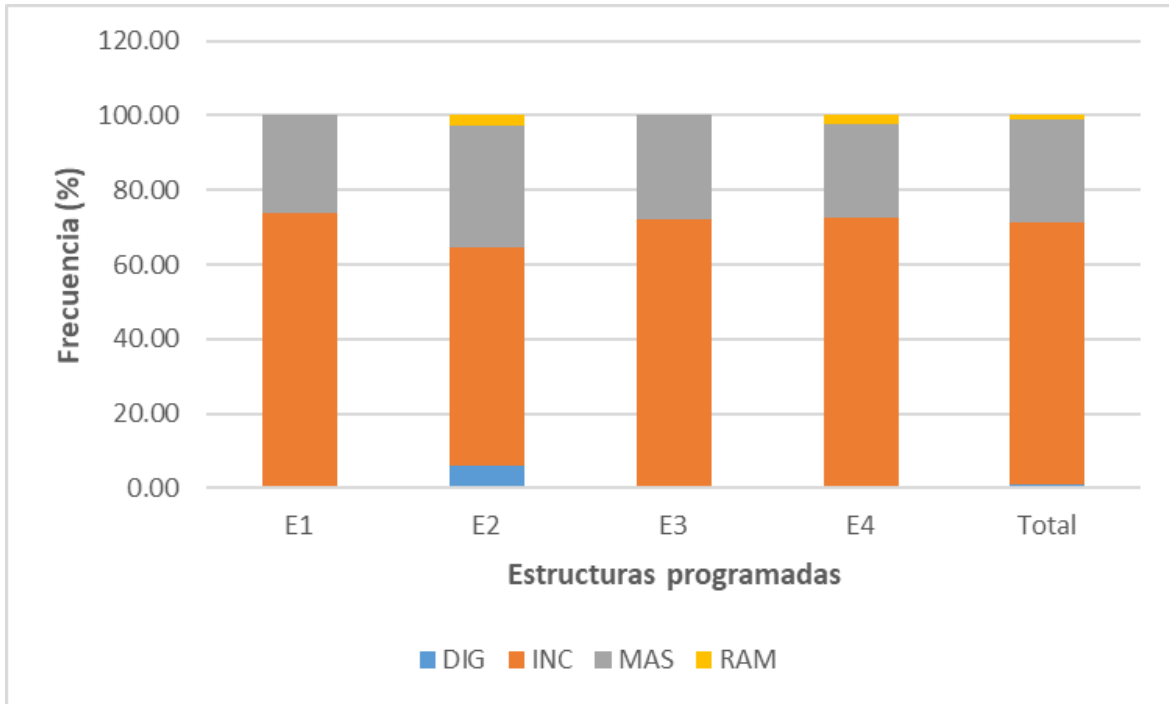
**Figura 207.** Estructura de tallas para CORALES ESCLERACTINIOS en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. I <5 cm, II=5-10 cm, III=10-20 cm, IV=20-40 cm, V> 40 cm de diámetro.

#### IV.2.2.6.2.1.3 Formas de crecimiento.

Se observaron cuatro formas de crecimiento coralino, de las cuales, los corales incrustantes fueron los que presentaron una mayor abundancia en todos los sitios y de manera global.

En los sitios E1 y E3 se presentaron sólo corales masivos e incrustantes, siendo estos últimos los de mayor abundancia (73.91% y 72.09 % respectivamente). En E2, las

cuatro formas de crecimiento estuvieron presentes. En esta zona los corales incrustantes aportaron el 58.82 %, los masivos el 32.35 %, los digitiformes el 5.88 % y los amificados el 2.94 %. En E4, los corales incrustantes (72.76 %) y masivos (25%) fueron más abundantes que los corales ramificados (2.27 %) como se muestra en la figura siguiente.



**Figura 208.** Formas de crecimiento para CORALES ESCLERACTINIOS en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. Dig=Digitiforme, Inc=Incrustante, Mas=Masiva, Ram=Ramificado.

#### IV.2.2.6.2.2 Gorgonáceos.

##### IV.2.2.6.2.2.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.

De manera global, los gorgonáceos, presentaron una riqueza de 19 especies pertenecientes a 3 familias y 11 géneros. De estas especies, *Gorgonia mariae* y *Pterogorgia anceps* fueron las que presentaron una frecuencia mayor al 20 % y por lo tanto fueron dominantes en el área. *Pterogorgia citrina* fue una especie



abundante y el resto escasas o raras por la baja abundancia relativa registrada. La diversidad global obtenida fue de  $H' = 1.8174$  y la equitabilidad de  $J' = 0.6172$ . Se estimó una densidad de  $1.72 \text{ ind/m}^2$ .

La abundancia de las especies varió entre sitios. *G. mariae* y *P. citrina* fueron las especies más abundante en los sitios E2 y E3. En el sitio E1, *P. anceps* fue dominante y en menor grado *P. guadalupensis* al ser abundante. En el sitio E4, *Plexaurella nutans* fue dominante (más del 20 %) mientras *Eunicea mammosa* y *P. citrina* abundantes (entre el 10% y 20 %).

Los valores mayores de diversidad y equitabilidad se presentaron en el sitio E4 ( $H' = 2.2955$ ,  $J' = 0.8279$ ) y la mayor densidad en el sitio E3 ( $3.08 \text{ ind/m}^2$ ).

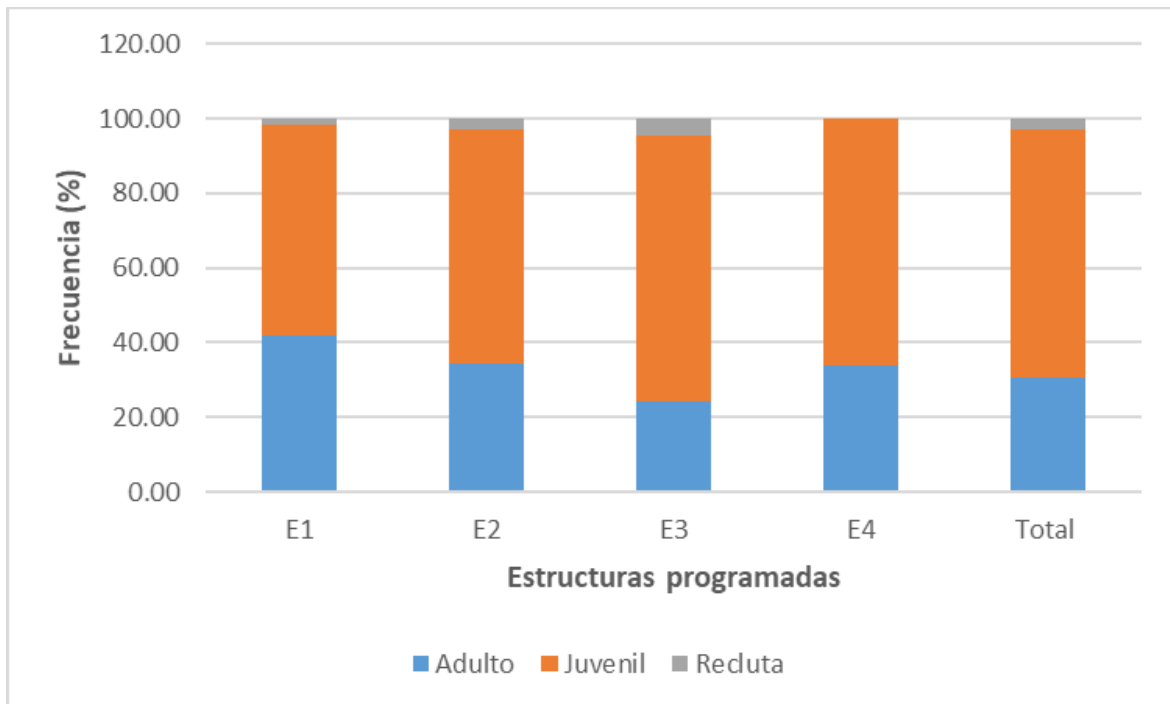
**Tabla 61.** Listado de especies y abundancia relativa de GORGONACEOS en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).  $H'$  = índice de diversidad de Shanon-Wiener (nits/ind),  $J'$  = Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, D= densidad ( $\text{ind/m}^2$ ).

Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4	Total
Briareidae	<i>Briareum</i>	<i>asbestinum</i>			R	R	R
Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i>	<i>flabellum</i>			R		R
		<i>mariae</i>		D	D	E	D
	<i>Pseudopterogorgia</i>	<i>acerosa</i>	E	R	R	E	E
		<i>americana</i>	R		E	E	E
	<i>Pterogorgia</i>	<i>anceps</i>	D	E	R	E	D
		<i>citrina</i>	E	D	D	A	A
<i>guadalupensis</i>		A				E	
Plexauridae	<i>Eunicea</i>	<i>calyculata</i>				E	R
		<i>laxispica</i>			R	E	R
		<i>mammosa</i>				A	E
		<i>tourneforti</i>		R	R	C	E
	<i>Muricea</i>	<i>muricata</i>		R		E	R
	<i>Muriceopsis</i>	<i>flavida</i>	E			C	E
	<i>Plexaura</i>	<i>flexuosa</i>		R		R	R
		<i>homomalla</i>				E	R

Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4	Total
	<i>Plexaurella</i>	<i>nutans</i>		E	E	D	E
	<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>		C	R	E	E
	<i>Pterogorgia</i>	<i>citrina</i>	R				R
		<b>R</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>19</b>
		<b>H´</b>	<b>0.8284</b>	<b>1.1971</b>	<b>0.8429</b>	<b>2.2955</b>	<b>1.8174</b>
		<b>J´</b>	<b>0.4257</b>	<b>0.5448</b>	<b>0.3515</b>	<b>0.8279</b>	<b>0.6172</b>
		<b>D (ind/m<sup>2</sup>)</b>	<b>1.8717</b>	<b>1.3742</b>	<b>3.0864</b>	<b>0.8</b>	<b>1.7266</b>

#### IV.2.2.6.2.2.2 Estructura de talla.

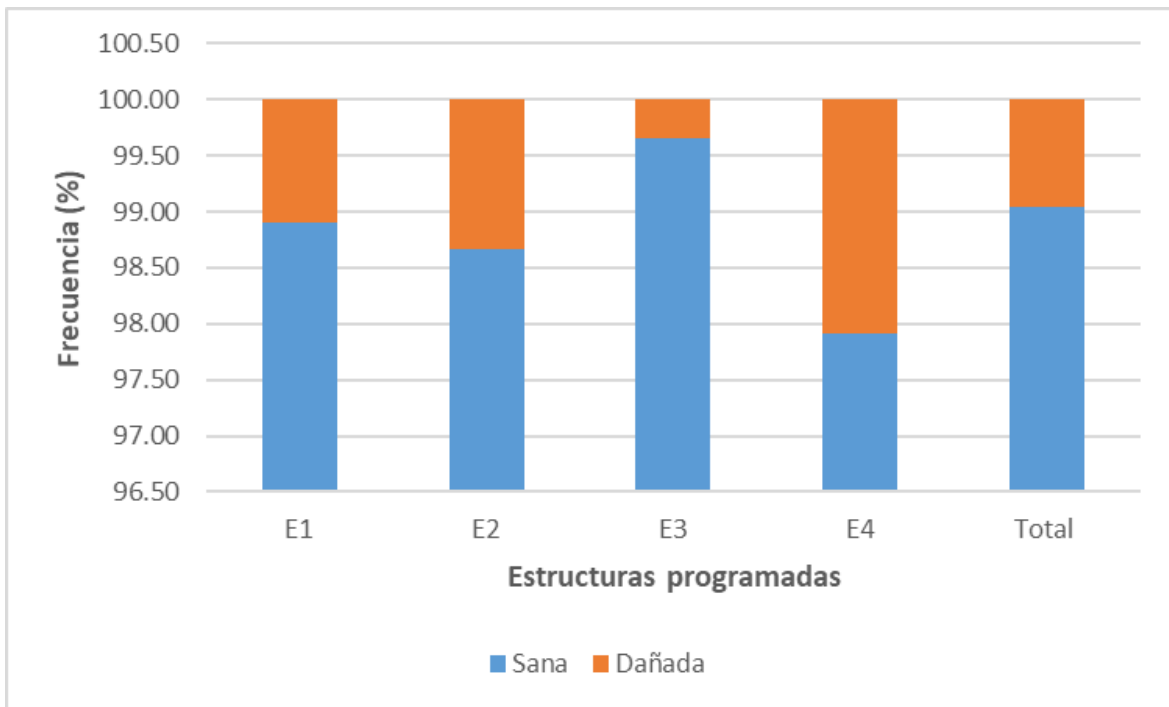
En todos los casos las tallas con mayor frecuencia fueron las de los individuos juveniles y aunque se registraron reclutas, éstos aportaron un porcentaje muy bajo en los sitios donde estuvieron presentes (E1=1.50 %, E2= 3.13 % y E3 =4.55 %).



**Figura 209.** Frecuencia de estructura de tallas para GORGONACEOS en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas.

**IV.2.2.6.2.2.3 Condición del organismo.**

Se encontraron colonias dañadas en los cuatro sitios, sin embargo, en todos los casos estas colonias contribuyeron con menos del 3 % de la frecuencia en cada sitio y de manera global, teniéndose de esta forma una mayor abundancia de colonias sanas.



**Figura 210.** Condición del organismo para GORGONACEOS en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. Sana = colonia sin tejido dañado, Daño = presenta algún tipo de afectación.

**IV.2.2.6.2.3 Ictiofauna.**

**IV.2.2.6.2.3.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.**

En lo que respecta a los peces arrecifales, se registró una riqueza total de 23 especies distribuidas en 14 familias y 20 géneros. La mayor riqueza y diversidad se

observaron en los sitios E4 (R= 17, H´=2.1892) y E3 (R=12, H´= 1.7734). La mayor equitabilidad se estimó en E2 (J´= 0.7847) y la menor en E1 (J´= 0.7015). La cantidad de individuos por área también fue variable, obteniéndose el valor mayor en E4 con 0.4208 ind/m<sup>2</sup>. La densidad total fue de 0.3284 ind/m<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

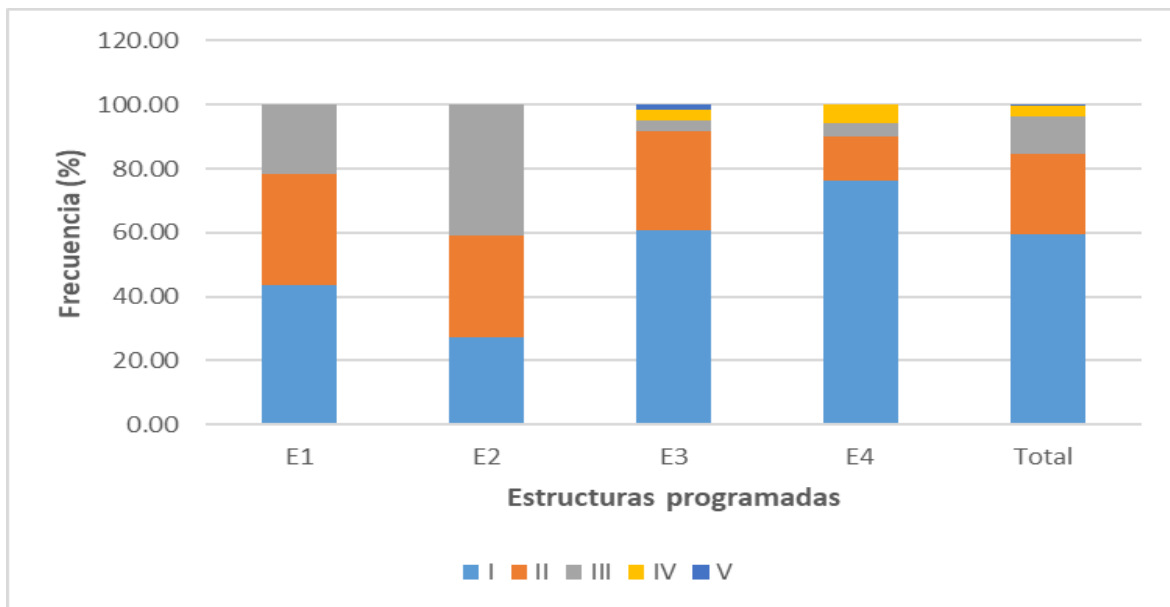
**Tabla 62.** Listado de especies y abundancia relativa de PECES ARRECIFALES en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas, con base en su abundancia relativa. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%). H´= índice de diversidad de Shannon-Wiener (nits/ind), J´= Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, D= densidad (ind/m<sup>2</sup>).

Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4	Total
Acanthuridae	<i>Acantarus</i>	<i>chirurgus</i>				E	E
Carangidae	<i>Caranx</i>	<i>ruber</i>		D	E		E
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>capistratus</i>	E		E	E	E
Gerreidae	<i>Gerres</i>	<i>cinereus</i>	E	D			E
Haemulidae	<i>Anisotremus</i>	<i>surinamensis</i>				R	R
		<i>flavolineatum</i>	D			A	A
	<i>Haemulon</i>	<i>plumierii</i>			C	E	E
		<i>sciurus</i>			A		E
Labridae	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>	D	A	D	D	D
		<i>poeyi</i>		E	C	E	E
	<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>				E	E
Lutjanidae	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>				E	E
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>				R	R
Pomacanthidae	<i>Holocanthus</i>	<i>ciliaris</i>			*		*
	<i>Pomacanthus</i>	<i>paru</i>			E		R
Pomacentridae	<i>Stegastes</i>	<i>adustus</i>			E		R
		<i>variabilis</i>				R	R
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>				C	E
	<i>Scarus</i>	<i>iseri</i>				E	E
	<i>Scorpaena</i>	<i>plumieri</i>			E		R
	<i>Sparisoma</i>	<i>radians</i>	E	E	C	E	E
		<i>viride</i>	E			E	E

Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4	Total	
Scianidae	<i>Pareques</i>	<i>acuminatus</i>			E	E	E	
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>		E	E	E	E	
Urobatidae	<i>Urobatis</i>	<i>jamaicensis</i>				*	*	
			<b>R</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>23</b>
			<b>H'</b>	<b>1.2568</b>	<b>1.4059</b>	<b>1.7734</b>	<b>2.1892</b>	<b>2.2318</b>
			<b>J'</b>	<b>0.7015</b>	<b>0.7847</b>	<b>0.7137</b>	<b>0.7727</b>	<b>0.7118</b>
			<b>D (ind/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0.3280</b>	<b>0.1571</b>	<b>0.3388</b>	<b>0.4208</b>	<b>0.3284</b>

#### IV.2.2.6.2.3.2 Estructura de tallas

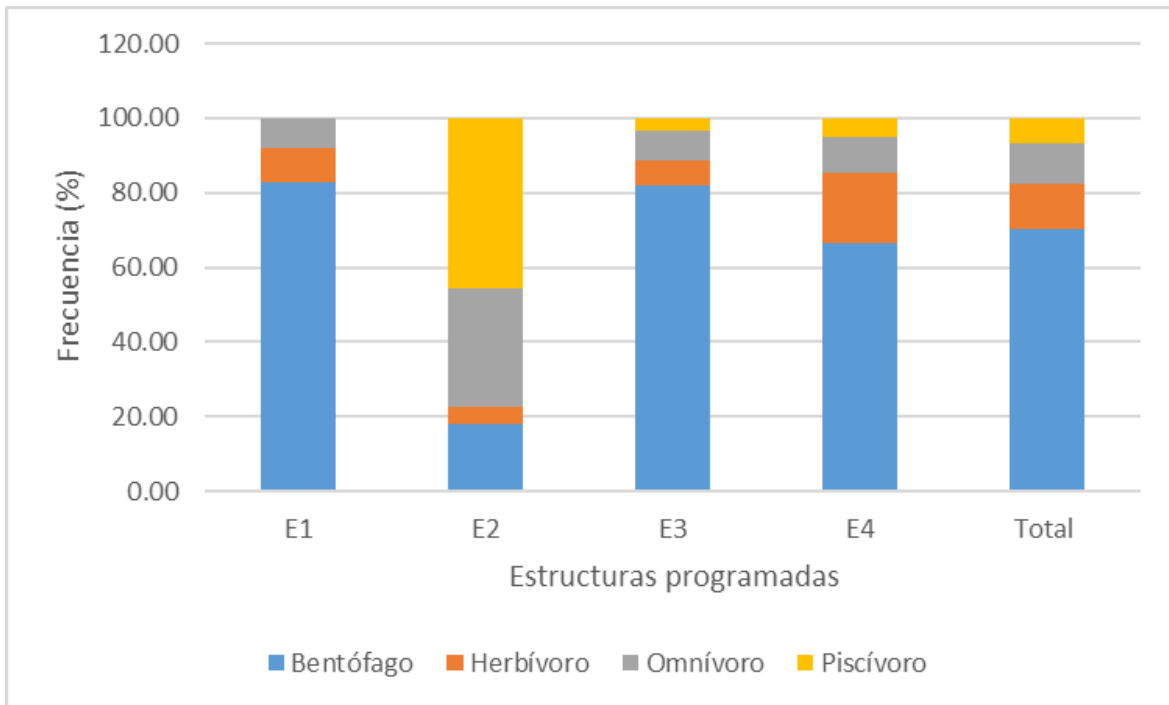
En el análisis global y en el sitio E3, se registró el espectro completo de las tallas, mientras en E4, cuatro categorías y en E1 y E2, sólo tres de ellas. Los peces de la categoría I dominaron los sitios E1 (43.75 %), E2 (60.66 %) y E4 (76.24 %) y en el análisis total (59.68 %), no así en E2 donde los peces medianos aportaron el valor mayor (40.91 %). Los peces de tallas grandes contribuyeron con porcentajes menores al 6% en E3 y de manera global.



**Figura 211.** Estructura de tallas para PECES ARRECIFALES en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. I <5 cm, II=5-10 cm, III=10-20 cm, IV=20-30, V>25 cm de longitud.

**IV.2.2.6.2.3.3 Grupos funcionales**

En el área propuesta para la instalación de las estructuras se observaron cuatro grupos tróficos, encontrándose el espectro completo sólo en tres de los sitios (E2, E3 y E4) y en el análisis global. En estos sitios los peces bentófagos fueron los que presentaron el mayor valor de la frecuencia total en cada caso (E2 = 82.81 %, E3 = 81.97 % y E4 = 70.16 %). El resto de los grupos funcionales contribuyeron con un porcentaje muy bajo (<11%). En el sitio E2, se observó una composición distinta a los otros sitios en donde los organismos piscívoros (45.45 %) y onmívoros (31.82 %) contribuyeron con el 77.27 % de la frecuencia siendo los grupos más abundantes.



**Figura 212.** Grupos tróficos para PECES ARRECIFALES en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas.



#### **IV.2.2.6.2.4 Vegetación marina**

##### **IV.2.2.6.2.4.1 Riqueza, abundancia, composición e índices ecológicos.**

La riqueza total registrada fue de 47 especies pertenecientes a 5 divisiones y 28 géneros. Las algas verdes de la división chlorophyta presentaron el número mayor de especies con un valor de 25. En el análisis global se obtuvo una diversidad de  $H' = 3.0142$ , una equitabilidad de  $J' = 0.7829$  y un porcentaje de cobertura vegetal de 62.51%.

El número de especies por sitio fue variable, observándose la mayor riqueza en E4 ( $R=34$ ) y en segundo lugar en E3 ( $R=25$ ), sitios en donde la diversidad también fue superior al resto ( $H' = 2.7446$  y  $H' = 2.5225$  respectivamente). En el sitio E1 la equitabilidad estimada fue de  $J' = 0.8479$  siendo el valor mayor comparado con el resto de los sitios. La cobertura vegetal en E1 fue la más baja con un valor de 39.4 % , registrándose la más alta en E3 con el 80.25 %.

En el análisis general no se presentaron especies que aportaran más del 20% de la frecuencia, por lo que no se registraron especies dominantes, únicamente especies abundantes (entre el 10 y 20 % de la frecuencia) como el alga verde *Rhipilia tomentosa*, el alga roja *Dasya ocellata* y al pasto marino *Syringodium filiforme*. De manera particular en cada sitio, las especies dominantes presentaron algunas diferencias. En E1 la especie que mayor abundancia relativa (>20 %) presentó fue *Acanthophora spicifera*, seguida de *Halimeda tuna* como especie abundante (10-20%). Por otro lado *Rhipilia tomentosa* (especie dominante) y *Amphiroa rigida* (especie abundante) fueron especies en las que su abundancia relativa fue importante en el sitio E2. En los sitios E3 y E4, el pasto marino de la especie *Syringodium filiforme* fue dominante al registrarse la mayor abundancia relativa.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 63.** Listado de especies de VEGETACIÓN MARINA y estimaciones de abundancia en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas, con base en su cobertura relativa. Dominante (D)=>20%; Abundante (A)=10-20%; Común (C)= 5-10%; Escasa (E)= 1-5% y Rara (R) = <1%. H´= índice de diversidad de Shanon-Wiener (nits/ind), J´= Índice de equitabilidad de Pielou, R= Riqueza, C= porcentaje de cobertura vegetal.

División	Género	Especie	E1	E2	E3	E4	Total
Chlorophyta	Avrainvillea	<i>asarifolia</i>	E		R		R
		<i>fibrosa</i>	E				R
	Batophora	<i>occidentalis</i>				E	R
	Caulerpa	<i>cupressoides</i>		R	R	R	R
		<i>mexicana</i>	C	R		R	E
		<i>paspaloides</i>			R		R
		<i>prolifera</i>	C	R	E	E	E
	Codium	<i>repens</i>				E	R
	Dasycladus	<i>vermicularis</i>	E				R
	Dictyosphaeria	<i>cavernosa</i>		R		R	R
	Halimeda	<i>discoidea</i>		E	E	E	E
		<i>gracilis</i>	C	E	R	E	E
		<i>incrassata</i>	E	C	E	E	E
		<i>lacrimosa</i>				R	R
		<i>opuntia</i>	R	E	E		E
		<i>scabra</i>			R		R
		<i>tuna</i>	A	C	E	C	C
	Penicillus	<i>capitatus</i>				R	R
		<i>dumetosus</i>		R	E	E	E
	Rhipilia	<i>tomentosa</i>		D	A	E	A
	Rhipocephalus	<i>phoenix</i>			R	E	R
	Udotea	<i>cyathiformis</i>				E	R
		<i>fibrosa</i>	C	R	R	E	E
<i>occidentalis</i>		E				R	
Valonia	<i>macrophysa</i>	R	R	R	R	R	
Phaeophyta	Dictyosphaeria	<i>cavernosa</i>			R	R	R
	Dictyota	<i>caribaea</i>			C	R	E
		<i>crenulata</i>				R	R

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

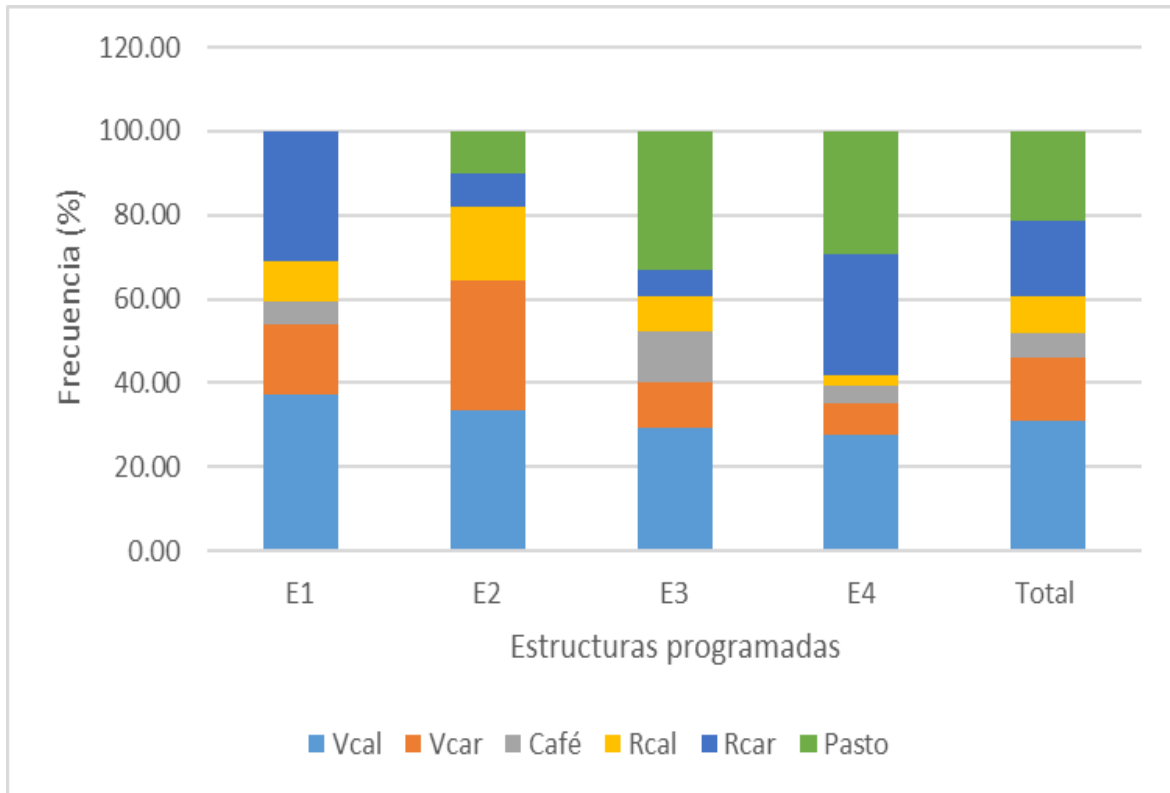
División	Género	Especie	E1	E2	E3	E4	Total
		<i>crispata</i>				E	R
		<i>pulchella</i>			E		R
	Sargassum	<i>fluitans</i>			R		R
		<i>natans</i>	R			R	R
Rhodophyta	Acanthophora	<i>spicifera</i>	D			E	E
	Amphiroa	<i>fragilissima</i>				R	R
		<i>rigida</i>		A	C		E
	Asparagopsis	<i>taxiformis</i>			R	R	R
	Bryothamnion	<i>triquetrum</i>	C			E	E
	Ceramium	<i>nitens</i>	E				R
	Dasya	<i>harveyi</i>				E	E
		<i>ocellata</i>	C	C	C	A	A
	Halymenia	<i>sp.</i>				R	R
	Hydrolithon	<i>boergueseni</i>		E			R
	Laurencia	<i>poiteaui</i>				R	R
	Neogoniolithon	<i>strictum</i>		E			R
Magnoliophyta	Syringodium	<i>filiforme</i>		E	D	D	A
	Thalassia	<i>testudinum</i>	C	A	A	A	C
Cyanobacteria	<i>Lyngbya</i>	<i>sp.</i>			E	E	E
		<b>R</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>25</b>	<b>34</b>	<b>47</b>
		<b>H´</b>	<b>2.4508</b>	<b>2.1979</b>	<b>2.5225</b>	<b>2.7466</b>	<b>3.0142</b>
		<b>J´</b>	<b>0.8479</b>	<b>0.7465</b>	<b>0.7837</b>	<b>0.7789</b>	<b>0.7829</b>
		<b>C (%)</b>	<b>39.40</b>	<b>55.73</b>	<b>80.25</b>	<b>77.26</b>	<b>62.51</b>

En el caso de los pastos marinos debido a que la afectación a éstos era alta como se registró en la época de lluvias, la posición de las estructuras de protección costera se modificó y por ello en la época de secas ya no se registró la presencia de pastos marinos en ninguno de los sitios propuestos para la instalación de las estructuras de protección. Es por ello que en este análisis, se reporta la presencia de las magnoliophytas en las cuatro estructuras debido a que como se menciona previamente se conjuntaron las dos épocas de muestreo para obtener la abundancia general en cada una de las estructuras.

#### **IV.2.2.6.2.4.2 Grupos funcionales**

En los sitios E3 y E4 y en consecuencia en el análisis total, se registraron seis grupos funcionales, mientras en E1 y E2 sólo cinco de ellos. De manera global, las algas verdes calcáreas representadas por los géneros *Penicillus*, *Halimeda*, *Udotea* y *Rhipocephalus* aportaron el mayor porcentaje de la frecuencia (30.94 %), seguidos por los pastos marinos (21.19 %). Las rodofitas carnosas aportaron el 18.35 %, las clorofitas carnosas el 15.04 %, las rodofitas calcáreas el 8.51% y las feofitas el 5.96 %.

En los sitios, el aporte de cada uno de los grupos funcionales fue distinto aunque se observó un ligero decremento de las algas verdes calcáreas de norte a sur (E1= 37.06 %, E2= 33.49 %, E3= 29.07 % y E4= 27.51 %). En el caso de las clorofitas carnosas y de las rodofitas calcáreas el mayor porcentaje se observó en E2 con valores de 31.10 % y 17.22 %, respectivamente. Los pastos marinos se registraron en los sitios E2, E3 y E4 siendo más abundantes en el sitio E3 (33.23 %) y menos en el E2 (10.05 %) como se observa en la figura siguiente.



**Figura 213.** Grupos funcionales para VEGETACIÓN MARINA en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera del proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. Vcar=Clorofitas carnosas, Vcal=Clorifitas calcáreas, Rcar=Rodofitas carnosas, Rcal=Rodofitas calcáreas, Café=Feofitas, Pasto=Magnoliofitas., Ciano=Cianobacterias.

#### IV.2.2.6.2.5 Otros Invertebrados

##### IV.2.2.6.2.5.1 Riqueza, composición y distribución de especies en el área de pretendida ubicación de las estructuras de protección costera.

Se registraron 8 grupos de invertebrados en los sitios considerados para la colocación de estructuras. Se obtuvo un total de 24 especies de invertebrados, pertenecientes a 23 familias y 23 géneros. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 8 especies presentes. La riqueza de especies aumentó de norte a sur,

observándose el mayor número de especies en el sitio E4 (16) como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 64.** Presencia y abundancia relativa de OTROS INVERTEBRADOS en el área programada para las nuevas estructuras de protección costera para el proyecto Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas. X=presencia de la especie en el sitio.

Grupo	Familia	Género	Especie	E1	E2	E3	E4
Anélido	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>	X			
	Actiniidae	<i>Condylactis</i>	<i>gigantea</i>				X
Anémóna	Stichodactylidae	<i>Stichodactyla</i>	<i>helianthus</i>		X		
Coralimorfo	Ricordeidae	<i>Ricordea</i>	<i>florida</i>			X	
	Diogenidae	<i>Paguristes</i>	<i>sp</i>		X		
Crustáceo	Palinuridae	<i>Panulirus</i>	<i>argus</i>				X
	Holothuriidae	<i>Holothuria</i>	<i>mexicana</i>			X	
Equinodermo	Toxopneustidae	<i>Tripneustes</i>	<i>ventricosus</i>				X
	Niphatidae	<i>Amphimedon</i>	<i>compressa</i>				X
	Clionidae	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>	X	X	X	X
	Aplysinidae	<i>Aplysina</i>	<i>fistularis</i>	X	X	X	X
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>	X			X
	Thorectidae	<i>Hyrtios</i>	<i>violaceus</i>				X
			<i>strobilina</i>	X	X	X	X
	Irciniidae	<i>Ircinia</i>	<i>felix</i>			X	X
	Pseudoceratinidae	<i>Pseudoceratina</i>	<i>crassa</i>		X		
Esponja	Tedaniidae	<i>Tedania</i>	<i>ignis</i>			X	X
	Cassidae	<i>Cassis</i>	<i>sp</i>				X
	Cerithiidae	<i>Cerithium</i>	<i>sp</i>		X		
	Ranellidae	<i>Charonia</i>	<i>variegata</i>				X
	Muricidae	<i>Murex</i>	<i>sp</i>			X	X
	Fascioliariidae	<i>Pleuroploca</i>	<i>gigantea</i>				X
Molusco	Strombidae	<i>Strombus</i>	<i>gigas</i>			X	X
Zoántido	Sphenopidae	<i>Palythoa</i>	<i>caribaeorum</i>	X		X	
		<b>R</b>		<b>6</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>16</b>



#### IV.2.2.7 Biota marina potencial y biota registrada a través del muestreo en campo en el SAR.

Con el fin de contar con una visión general del estado del SAR respecto a la biota marina, se muestra a continuación la comparación de la biota marina potencial y la registrada en el SAR a través del muestreo en la zona.

**Tabla 65.** Listado de especies de CORALES documentadas y registradas en el muestreo realizado en el SAR.

<b>Corales</b>	<b>Especies potenciales</b>	<b>Especies registrada en el SAR (muestreo)</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	
Acroporidae	<i>Acropora cervicornis</i>	
	<i>Acropora palmata</i>	
Agariciidae	<i>Agaricia agaricites</i>	X
	<i>Agaricia fragilis</i>	
	<i>Agaricia humilis</i>	
	<i>Agaricia lamarcki</i>	
	<i>Agaricia tenuifolia</i>	
	<i>Agaricia undata</i>	
	<i>Leptoseris cucullata</i>	
Anthothelidae	<i>Erythropodium caribaeorum</i>	
	<i>Iciligorgia schrammi</i>	
Antipathidae	<i>Antipathes caribbeana</i>	
	<i>Antipathes atlantica</i>	
	<i>Antipathes gracilis</i>	
	<i>Antipathes hirta</i>	
	<i>Antipathes tanacetum</i>	
	<i>Antipathes lenta</i>	
	<i>Antipathes pennacea</i>	
	* <i>Antipathes bichitoea</i>	
	* <i>Antipathes grandis</i>	
	* <i>Antipathes ulex</i>	
Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia michelini</i>	X
Briareidae	<i>Briareum asbestinum</i>	X

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Corales	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Faviidae	<i>Colpophyllia amaranthus</i>	
	<i>Colpophyllia breviserialis</i>	
	<i>Colpophyllia natans</i>	
	** <i>Pseudodiploria clivosa</i>	X
	<i>Diploria labyrinthiformis</i>	
	** <i>Pseudodiploria strigosa</i>	X
	<i>Favia fragum</i>	
Faviidae	<i>Isophyllia sinuosa</i>	
	<i>Isophyllastrea rigida</i>	
	<i>Manicina areolata</i>	X
	<i>Montastrea cavernosa</i>	X
	<i>Mussa angulosa</i>	
	<i>Mycetophyllia aliciae</i>	
	<i>Mycetophyllia danaana</i>	
	<i>Mycetophyllia ferox</i>	
	<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	
	* <i>Orbicella faveolata</i>	
	<i>Scolymia cubensis</i>	
	<i>Scolymia lacera</i>	
	<i>Solenastrea bourmoni</i>	
	<i>Solenastrea hyades</i>	
Gorgoniidae	<i>Gorgonia flabellum</i>	X
	<i>Gorgonia mariae</i>	X
	<i>Gorgonia ventalina</i>	
	<i>Pseudopterogorgia acerosa</i>	X
	<i>Pseudopterogorgia americana</i>	X
	<i>Pseudopterogorgia bipinnata</i>	
	<i>Pseudopterogorgia elisabethae</i>	
	<i>Pseudopterogorgia hummelincki</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Corales	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Pseudopterogorgia rigida</i>	
	<i>Pterogorgia anceps</i>	X
	<i>Pterogorgia citrina</i>	X
	<i>Pterogorgia guadalupensis</i>	X
	<i>Dendrogyra cylindrus</i>	
Meandrinidae	<i>Dichocoenia stokesii</i>	X
	<i>Eusmilia fastigiata</i>	
	<i>Meandrina meandrites</i>	
Milleporidae	<i>Millepora alcicornis</i>	X
	<i>Millepora complanata</i>	X
Plexauridae	<i>Eunicea calyculata</i>	X
	<i>Eunicea fusca</i>	
	<i>Eunicea laxispica</i>	X
	<i>Eunicea mammosa</i>	X
	<i>Eunicea palmeri</i>	
	<i>Eunicea sp</i>	
Plexauridae	<i>Eunicea tourneforti</i>	X
	<i>Muricea atlantica</i>	
	<i>Muricea elongata</i>	
	<i>Muricea laxa</i>	
	<i>Muricea muricata</i>	X
	<i>Muriceopsis flavida</i>	X
	<i>Plexaura flexuosa</i>	X
	* <i>Plexaura homomalla</i>	
	<i>Plexaura sp</i>	
	* <i>Plexaurella dichotoma</i>	X
	<i>Plexaurella grandiflora</i>	
	<i>Plexaurella grisea</i>	
	<i>Plexaurella nutans</i>	X
<i>Pseudoplexaura crucis</i>		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Corales	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Pseudoplexaura flagellosa</i>	
	<i>Pseudoplexaura porosa</i>	X
	<i>Pseudoplexaura wagnaari</i>	
Pocilloporidae	<i>Madracis decactis</i>	
	<i>Madracis mirabilis</i>	
Poritidae	<i>Porites astreoides</i>	X
	<i>Porites branneri</i>	
	<i>Porites colonensis</i>	
	<i>Porites divaricata</i>	
	<i>Porites furcata</i>	
	<i>Porites porites</i>	X
Siderastreidae	<i>Siderastrea radians</i>	X
	<i>Siderastrea sideraea</i>	X
Scleractinia incertae sedis	<i>Cladocora arbuscula</i>	X

\*Especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo normativo III (DOF, 14/11/2019): *Plexaura homomalla*, *Plexaurella dichotoma*, *Acropora cervicornis*, *A. palmata*, *Antipathes bichitoea*, *A. grandis*, *A. ulex* y *Orbicella faveolata*.

\*\*Antes género *Diploria* (World Register of Marine Species).

De las 97 especies potenciales de corales, en el SAR sólo se registraron 32 especies, de las cuales *Plexaura homomalla*, *Plexaurella dichotoma*, *Acropora cervicornis*, *A. palmata*, *Antipathes bichitoea*, *A. grandis*, *A. ulex* y *Orbicella faveolata* están citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la modificación a su anexo normativo III (DOF, 14/11/2019).

**Tabla 66.** Listado de especies de PECES documentadas y registradas en el muestreo realizado en el SAR.

Ictiofauna	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Acanthuridae	<i>Acanthurus bahianus</i>	
	<i>Acanthurus chirurgus</i>	X
	<i>Acanthurus coeruleus</i>	X
Aulostomidae	<i>Aulostomus maculatus</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>Ictiofauna</b>	<b>Especies potenciales</b>	<b>Especies registrada en el SAR (muestreo)</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	
Apogonidae	<i>Apogon binotatus</i>	
	<i>Apogon maculatus</i>	
	<i>Apogon townsendi</i>	
Balistidae	<i>Balistes vetula</i>	
	<i>Canthidermis sufflamen</i>	
	<i>Melichthys niger</i>	
	<i>Xanthichthys ringens</i>	
Bleniidae	<i>Ophioblennius atlanticus</i>	
Bothidae	<i>Bothus lunatus</i>	
	<i>Bothus ocellatus</i>	
	<i>Bothus maculiferos</i>	
Carangidae	<i>Trachinotus carolinus</i>	
	<i>Trachinotus falcatus</i>	
	<i>Trachinotus sp.</i>	
	<i>Caranx crysos</i>	X
	<i>Caranx latus</i>	
	<i>Caranx hippos</i>	
	<i>Caranx lugubris</i>	
	<i>Caranx ruber</i>	X
	<i>Caranx sp.</i>	
	<i>Seriola dumerili</i>	
Chaetodontidae	<i>Prognathodes aculeatus</i>	
	<i>Chaetodon capistratus</i>	X
	<i>Chaetodon ocellatus</i>	X
	<i>Chaetodon striatus</i>	X
Cirrhitidae	<i>Amblycirrhitus pinos</i>	
Dasyatidae	<i>Hypanus americanus</i>	
	<i>Dasyatis americana</i>	
Diodontidae	<i>Diodon holocanthus</i>	X
	<i>Eucinostomus gula</i>	
	<i>Eucinostomus</i>	
	<i>argenteus</i>	
	<i>Eucinostomus sp.</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>Ictiofauna</b>	<b>Especies potenciales</b>	<b>Especies registrada en el SAR (muestreo)</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	
	<i>Diodon hystrix</i>	X
Gerriidae	<i>Gerres cinereus</i>	X
	<i>Gerres sp.</i>	
Gobiidae	<i>Coryphopterus dicrus</i>	
	<i>Coryphopterus hyalinus</i>	
	<i>Coryphopterus personatus</i>	
	<i>Ctenogobius saepepallens</i>	X
	<i>Elacantinus prochinos</i>	X
	<i>Gnatholepis cauerensis</i>	X
	<i>Gnatholepis thompsoni</i>	
	<i>Gobioclinus bucciferus</i>	
	<i>Gobiosoma dilepis</i>	
	<i>Gobiosoma evelynae</i>	
	<i>Gobiosoma prochilus</i>	
	<i>Robinsichthys arrowsmithensis</i>	
Gobiesocidae	<i>Gobiesox punctulatus</i>	
Grammatidae	<i>Grama loreto</i>	
	<i>Lipogramma trilineatum</i>	
Haemulidae	<i>Anisotremus surinamensis</i>	X
	<i>Anisotremus virginicus</i>	
	<i>Haemulon album</i>	
	<i>Haemulon aurolineatum</i>	
	<i>Haemulon carbonarium</i>	X
	<i>Haemulon chrysargyreum</i>	
	<i>Haemulon flavolineatum</i>	X
	<i>Haemulon melanurum</i>	
	<i>Haemulon macrostomum</i>	X
	<i>Haemulon plumieri</i>	X
	<i>Haemulon sciurus</i>	X
	<i>Haemulon striatum</i>	
<i>Haemulon vittatum</i>		
Holocentridae	<i>Holocentrus adscensionis</i>	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Ictiofauna	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Holocentrus bullisi</i>	
	<i>Holocentrus marianus</i>	
	<i>Holocentrus rufus</i>	
	<i>Myripristis jacobus</i>	
	<i>Sargocentron coruscus</i>	
	<i>Sargocentron vexillarius</i>	
Labridae	<i>Bodianus rufus</i>	X
	<i>Clepticus parrai</i>	
	<i>Halichoeres bivittatus</i>	X
	<i>Halichoeres cyanocephalus</i>	
	<i>Halichoeres garnoti</i>	X
	<i>Halichoeres maculipinna</i>	X
	<i>Halichoeres pictus</i>	X
	<i>Halichoeres poeyi</i>	X
	<i>Halichoeres radiatus</i>	X
	<i>Lachnolaimus maximus</i>	X
	<i>Thalassoma bifasciatum</i>	X
	<i>Xyrichtys martinicensis</i>	X
	<i>Xyrichtys splendens</i>	
Labrisomidae	<i>Malacoctenus boehlkei</i>	
	<i>Malacoctenus macropus</i>	
	<i>Malacoctenus triangulatus</i>	
	<i>Malacoctenus versicolor</i>	
Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i>	X
	<i>Lutjanus apodus</i>	
	<i>Lutjanus jocu</i>	
	<i>Lutjanus mahogoni</i>	
	<i>Lutjanus synagris</i>	
	<i>Ocyurus chrysurus</i>	X
Malacanthidae	<i>Malacanthus plumieri</i>	X
Monacanthidae	<i>Cantherhines macrocerus</i>	
	<i>Cantherhines pullus</i>	
	<i>Monacanthus tuckeri</i>	
Mullidae	<i>Mulloidichthys martinicus</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

<b>Ictiofauna</b>	<b>Especies potenciales</b>	<b>Especies registrada en el SAR (muestreo)</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	
	<i>Pseudupeneus maculatus</i>	X
Muraenidae	<i>Gymnothorax funebris</i>	
	<i>Gymnothorax miliaris</i>	X
	<i>Gymnothorax moringa</i>	
Myliobatidae	<i>Aetobatus narinari</i>	
Opistognathidae	<i>Opistognathus macrognathus</i>	
	<i>Opistognathus natus</i>	
	<i>Opistognathus whitehursti</i>	
	<i>Opistognathus aurifrons</i>	
Ostraciidae	<i>Lactophrys bicaudalis</i>	
	<i>Lactophrys trigonos</i>	X
	<i>Acanthostracion polygonius</i>	
	<i>Acanthostracion quadricornis</i>	
	<i>Acanthostracion triqueter</i>	
Paralichthyidae	<i>Paralichthys albigutta</i>	
Pempheridae	<i>Pempheris schomburgkii</i>	
Pomacanthidae	<i>Centropyge argi</i>	
	<i>Holacanthus bermudensis</i>	
	<i>Holacanthus ciliaris</i>	X
	<i>Holacanthus tricolor</i>	X
	<i>Pomacanthus arcuatus</i>	X
	<i>Pomacanthus paru</i>	X
Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i>	X
	<i>Chromis cyanea</i>	
	<i>Chromis enchrysurus</i>	
	<i>Chromis insolata</i>	
	<i>Chromis multilineatus</i>	
	<i>Chromis scotti</i>	
	<i>Microspathodon chrysurus</i>	X
	<i>Stegastes adustus</i>	X
	<i>Stegastes diencaeus</i>	X
	<i>Stegastes fuscus</i>	
<i>Stegastes dorsopunicans</i>		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Ictiofauna	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Stegastes leucostictus</i>	X
	<i>Stegastes partitus</i>	X
	<i>Stegastes planifrons</i>	
	<i>Stegastes variabilis</i>	X
Priacanthidae	<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	
	<i>Priacanthus arenatus</i>	
Scaridae	<i>Nicholsina usta</i>	X
	* <i>Scarus coeruleus</i>	
	* <i>Scarus guacamaia</i>	
	* <i>Scarus iserti</i>	
	* <i>Scarus taeniopterus</i>	
	* <i>Scarus vetula</i>	
	<i>Sparisoma atomarium</i>	
	* <i>Sparisoma aurofrenatum</i>	X
	* <i>Sparisoma chrysopteron</i>	X
	<i>Sparisoma radians</i>	X
	* <i>Sparisoma rubripinne</i>	X
	* <i>Sparisoma viride</i>	X
	Sciaenidae	<i>Pereques acuminatus</i>
<i>Equetus punctatus</i>		
Scorpaenidae	<i>Scorpaena plumieri</i>	X
	<i>Pterois volitans</i>	X
Serranidae	<i>Rypticus saponaceus</i>	
	<i>Cephalopholis cruentatus</i>	
	<i>Cephalopholis fulva</i>	
	<i>Epinephelus adscensionis</i>	
	<i>Epinephelus guttatus</i>	
	<i>Epinephelus striatus</i>	
	<i>Hypoplectrus aberrans</i>	
	<i>Hypoplectrus chlorurus</i>	
	<i>Hypoplectrus guttavarius</i>	
	<i>Hypoplectrus indigo</i>	
	<i>Hypoplectrus nigricans</i>	
	<i>Hypoplectrus puella</i>	

<b>Ictiofauna</b>	<b>Especies potenciales</b>	<b>Especies registrada en el SAR (muestreo)</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	
	<i>Hypoplectrus unicolor</i>	
	<i>Liopropoma rubre</i>	
	<i>Mycteroperca bonaci</i>	
	<i>Mycteroperca venenosa</i>	
	<i>Mycteroperca interstitialis</i>	
	<i>Serranus baldwini</i>	
	<i>Serranus tabacarius</i>	
	<i>Serranus tigrinus</i>	
	<i>Serranus tortugarum</i>	
Sparidae	<i>Calamus bajonado</i>	
	<i>Calamus calamus</i>	
	<i>Calamus pennatula</i>	
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i>	
Synodontidae	<i>Synodus saurus</i>	
Tetraodontidae	<i>Canthigaster rostrata</i>	X
	<i>Sphoeroides spengleri</i>	
Urobatidae	<i>Urobatis jamaicensis</i>	X

\*Especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 de acuerdo con la modificación de su anexo normativo III (DOF, 14/11/2019).

De las 187 especies potenciales de peces arrecifales, en el SAR se registraron únicamente 57.

**Tabla 67.** Listado de especies de VEGETACIÓN MARINA documentadas y registradas en el muestreo realizado en el SAR.

<b>Vegetación marina</b>	<b>Especies potenciales</b>	<b>Especies registrada en el SAR (muestreo)</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	
Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis taxiformis</i>	X
Anadyomenaceae	<i>Anadyomene stellata</i>	
Boodleaceae	<i>Cladophoropsis macromeres</i>	
Boodleaceae	<i>Cladophoropsis membranacea</i>	
Callithamniaceae	<i>Aglaothamnion cordatum</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Aglaothamnion neglectum</i>	
	<i>Crouania attenuata</i>	
Caulacanthaceae	<i>Catenella caespitosa</i>	
	<i>Catenella impudica</i>	
Caulerpaceae	<i>Caulerpa cupressoides</i>	X
	<i>Caulerpa cupressoides</i> var. <i>flabellata</i>	
	<i>Caulerpa mexicana</i>	X
	<i>Caulerpa paspaloides</i>	X
	<i>Caulerpa prolifera</i>	X
	<i>Caulerpa prolifera</i> f. <i>obovata</i>	
	<i>Caulerpa racemosa</i>	X
	<i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>Peltata</i>	
	<i>Caulerpa sertularioides</i>	X
	<i>Caulerpa sertularioides</i> f. <i>brevipes</i>	
	<i>Caulerpa sertularioides</i> f. <i>longiseta</i>	
	<i>Caulerpa verticillata</i>	X
	<i>Caulerpa ashmeadii</i>	
Ceramiaceae	<i>Centroceras clavulatum</i>	
	<i>Ceramium cruciatum</i>	
	<i>Ceramium nitens</i>	X
Champiaceae	<i>Champia parvula</i>	
	<i>Champia salicornioides</i>	
	<i>Coelothrix irregularis</i>	
Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha gracilis</i>	
	<i>Chaetomorpha linum</i>	
	<i>Chaetomorpha minima</i>	
	<i>Cladophora</i> sp.	

<b>Vegetación marina</b>	<b>Especies potenciales</b>	<b>Especies registrada en el SAR (muestreo)</b>
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	
	<i>Rhizoclonium riparium</i>	
Codiaceae	<i>Codium isthmocladum</i>	
	<i>Codium repens</i>	X
	<i>Codium taylorii</i>	
Corallinaceae	<i>Jania pumila</i>	
	<i>Jania adhaerens</i>	
	<i>Jania rubens</i>	
Cystocloniaceae	<i>Hypnea cervicornis</i>	X
	<i>Hypnea musciformis</i>	
	<i>Hypnea spinella</i>	
	<i>Hypnea valentiae</i>	
Dasyaceae	<i>Dasya baillouviana</i>	
	<i>Dasya caraibica</i>	
	<i>Dasya harveyi</i>	X
	<i>Dasya ocellata</i>	X
	<i>Dasya rigidula</i>	
	<i>Heterosiphonia crispella</i>	
	<i>Heterosiphonia gibbesii</i>	X
Dasycladaceae	<i>Neomeris annulata</i>	X
	<i>Batophora occidentalis</i>	
	<i>Batophora oerstedii</i>	
	<i>Dasycladus vermicularis</i>	X
	<i>Neomeris annulata</i>	
Delesseriaceae	<i>Caloglossa leprieurii</i>	
	<i>Hypoglossum involvens</i>	
Derbesiaceae	<i>Derbesia vaucheriaeformis</i>	
	<i>Derbesia marina</i>	X
	<i>Derbesi sp</i>	X
	<i>Pedobesia simplex</i>	
Dichotomosiphonaceae	<i>Avrainvillea asarifolia</i>	X
	<i>Avrainvillea fibrosa</i>	X



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Avrainvillea longicaulis</i>	X
	<i>Avrainvillea nigricans</i>	
	<i>Cladocephalus luteofuscus</i>	
Dictyotaceae	<i>Dictyopteris delicatula</i>	
	<i>Dictyopteris justii</i>	X
	<i>Dictyota bartayresiana</i>	X
	<i>Dictyota caribaea</i>	X
	<i>Dictyota cervicornis</i>	X
	<i>Dictyota crenulata</i>	X
	<i>Dictyota crispata</i>	X
	<i>Dictyota dichotoma</i>	
	<i>Dictyota divaricata</i>	
	<i>Dictyota menstrualis</i>	X
	<i>Dictyota pinnatifida</i>	X
	<i>Dictyota pulchella</i>	X
	<i>Dictyota volubilis</i>	
	<i>Lobophora variegata</i>	X
	<i>Padina boergesenii</i>	
	<i>Padina gymnospora</i>	
	<i>Padina sp.</i>	
	<i>Styopodium zonale</i>	X
Galaxauraceae	<i>Tricleocarpa fragilis</i>	
	<i>Galaxaura rugosa</i>	
	<i>Galaxaura sp</i>	X
Gracilariaceae	<i>Crassiphycus caudatus*</i>	
	<i>Gracilaria cervicornis</i>	
	<i>Gracilaria verrucosa</i>	
	<i>Gracilaria sp.</i>	X
Halimedaceae	<i>Halimeda copiosa</i>	
	<i>Halimeda discoidea</i>	X
	<i>Halimeda goreau</i>	X

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Halimeda gracilis</i>	X
	<i>Halimeda incrassata</i>	X
	<i>Halimeda lacrimosa</i>	X
	<i>Halimeda monile</i>	X
	<i>Halimeda opuntia</i>	X
	<i>Halimeda scabra</i>	X
	<i>Halimeda tuna</i>	X
Halymeniaceae	<i>Grateloupia filicina</i>	
	<i>Halymenia duchassaingii</i>	
	<i>Halymenia sp.</i>	X
Hydrolithaceae	<i>Hydrolithon boergesenii</i>	
Liagoraceae	<i>Ganonema pinnatum</i>	
	* <i>Liagora mucosa</i>	
	<i>Liagora sp.</i>	X
Lithophyllaceae	<i>Amphiroa fragilissima</i>	X
	<i>Amphiroa rigida</i>	X
	<i>Amphiroa tribulus</i>	
Lomentariaceae	<i>Ceratodictyon intricatum</i>	
	<i>Lomentaria baileyana</i>	
Mesophyllaceae	<i>Mesophyllum mesomorphum</i>	
Polyphysaceae	<i>Acetabularia calyculus</i>	
	<i>Acetabularia crenulata</i>	X
	<i>Polyphysa polyphysoides</i>	
Rhipiliaceae	<i>Rhipilia tomentosa</i>	X
Rhizophyllidaceae	<i>Ochtodes secundiramea</i>	
Rhodomelaceae	<i>Acanthophora muscoides</i>	
	<i>Acanthophora spicifera</i>	X
	<i>Bostrychia montagnei</i>	
	<i>Bostrychia tenella</i>	
	<i>Bryocladia cuspidata</i>	
	<i>Bryothamnion seaforthii</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Alsidium triquetrum</i>	X
	<i>Chondria baileyana</i>	
	<i>Chondria capillaris</i>	
	<i>Chondria littoralis</i>	
	<i>Chondria sp.</i>	X
	<i>Chondriopsis dasyphylla f. pyrifera</i>	
	<i>Digenea simplex</i>	
	<i>Laurencia microcladia</i>	
	<i>Laurencia obtusa</i>	
	<i>Laurencia papillosa</i>	X
	<i>Laurencia poiteaui</i>	X
	<i>Murrayella pericladus</i>	
	<i>*Palisada perforata</i>	X
	<i>Polysiphonia ramentacea</i>	
	<i>Polysiphonia sp.</i>	
Rhodymeniaceae	<i>Botryocladia occidentalis</i>	
	<i>Botryocladia pyriformis</i>	
	<i>Botryocladia sp.</i>	
Sargassaceae	<i>Sargassum fluitans</i>	X
	<i>Sargassum hystrix</i>	
	<i>Sargassum natans</i>	X
	<i>Sargassum platicarpum</i>	X
	<i>Sargassum polyceratium</i>	X
	<i>Turbinaria turbinata</i>	X
Siphonocladaceae	<i>Dictyosphaeria cavernosa</i>	X
Solieriaceae	<i>Eucheuma isiforme</i>	
	<i>Meristotheca gelidium</i>	
	<i>Solieria filiformis</i>	
	<i>Wurdemannia miniata</i>	
Spyridiaceae	<i>Spyridia filamentosa</i>	
	<i>Spyridia sp.</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Udoteaceae	<i>Boodleopsis pusilla</i>	
	<i>Penicillus capitatus</i>	X
	<i>Penicillus dumetosus</i>	X
	<i>Penicillus lamourouxii</i>	X
	<i>Penicillus pyriformis</i>	X
	<i>Rhypocephalus phoenix</i>	X
	<i>Rhypocephalus phoenix</i> <i>f.brevifolius</i>	
	<i>Rhypocephalus phoenix</i> <i>f.longifolius</i>	
	<i>Udotea conglutinata</i>	
	<i>Udotea cyathiformis</i>	X
	<i>Udotea fibrosa</i>	X
	<i>Udotea flabellum</i>	X
	<i>Udotea occidentalis</i>	X
	<i>Udotea spinulosa</i>	
	<i>Udotea wilsonii</i>	X
Ulvaceae	<i>Enteromorpha sp</i>	X
	<i>Ulva linza</i>	
Valoniaceae	<i>Valonia macrophysa</i>	X
	<i>Valonia utricularis</i>	
	<i>Valonia ventricosa</i>	
Wrangeliaceae	<i>Wrangelia argus</i>	
Spongitaceae	<i>Neogoniolithon strictum</i>	
<b>Cyanobacteria</b>		
Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya sp.</i>	X
Phormidiaceae	<i>Symploca sp.</i>	
<b>Magnoliophyta</b>		
Cymodoceaceae	** <i>Syringodium filiforme</i>	X
	** <i>Halodule wrightii</i>	
Hydrocharitaceae	<i>Halophila engelmannii</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Vegetación marina	Especies potenciales	Especies registrada en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Thalassia testudinum</i>	X

\**Gracilaria caudata* cambió a *Crassiphycus caudatus*. Gurgel, J.N. Norris & Fredericq, 2018 *Hydropuntia caudata* sinónimia. *Palisada poiteau*, nombre científico que ya no es aceptado, el nombre aceptado es *Laurencia poiteaui*. *Palisada perforata* antes *Laurencia paillosa* (Bory) K.W.Nam, 2007. *Liagora mucosa* cambió a *Gloiocallis dendroidea* (P.Crouan & H.Crouan) Showe M.Lin, Huisman & D.L.Ballantine, 2014. *Bryothamnion triquetrum* cambió a *Alsidium triquetrum* (S.G.Gmelin) Trevisan, 1845 (World Register of Marine Species).

\*\* Especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 con base en la modificación de su anexo normativo III (DOF, 14/11/2019).

En lo que respecta a la vegetación marina, se documentaron 184 especies con distribución potencial en el SAR, sin embargo, a través del muestreo en campo, sólo se observaron 76.

**Tabla 68.** Listado de especies de otros INVERTEBRADOS documentadas y registradas en el muestreo realizado en el SAR.

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
<b>Coralimorfo</b>		
Ricordeidae	<i>Ricordea florida</i>	X
<b>Anémonas</b>		
Actiniidae	<i>Condylactis gigantea</i>	X
	<i>Actinostella flosculifera</i>	
	<i>Anemonia sargassensis</i>	
	<i>Bunodosoma granuliferum</i>	
Aiptasiidae	<i>Aiptasia pallida</i>	
	<i>Ragactis lucida</i>	X
	<i>Bartholomea annulata</i>	
Aliciidae	<i>Lebrunia danae</i>	
Boloceroididae	<i>Bunodeopsis antilliensis</i>	
Homostichanthidae	<i>Homostichanthus duerdeni</i>	
Phymanthidae	<i>Phymanthus crucifer</i>	
Stichodactylidae	<i>Stichodactyla helianthus</i>	X
<b>Esponjas</b>		

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Agelasidae	<i>Agelas clathrodes</i>	X
Aplysinidae	<i>Aplysina lacunosa</i>	
	<i>Aplysina fulva</i>	X
	<i>Aplysina fistularis</i>	X
	<i>Aplysina cauliformis</i>	X
	<i>Aplysina archeri</i>	
	<i>Aiolochoxia crassa</i>	
	<i>Verongula rigida</i>	
	<i>Verongula gigantea</i>	
Astroscleridae	<i>Goreauia auriculata</i>	
Axinellidae	<i>Dragmacidon sp</i>	X
	<i>Ptilocaulis sp</i>	X
Biemnidae	<i>Neofibularia nolitangere</i>	
Callyspongiidae	<i>Callyspongia plicifera</i>	X
	<i>Callyspongia vaginalis</i>	X
Chalinidae	<i>Haliclona tubifera</i>	
Chondrillidae	<i>Chondrilla nucula</i>	
Clathrinidae	<i>Clathrina canariensis</i>	X
Clionidae	<i>Pione lampa</i>	
	<i>Cliona varians</i>	
	<i>Cliona caribbaea</i>	X
	<i>Anthosigmella varians</i>	X
Crambeidae	<i>Monanchora arbuscula</i> *	X
Desmacididae	<i>Desmapsamma anchorata</i>	X
Dysideidae	<i>Dysidea etheria</i>	X
Geodiidae	<i>Geodia neptuni</i>	
Irciniidae	<i>Ircinia campana</i>	X
	<i>Ircinia felix</i>	X
	<i>Ircinia strobilina</i>	X
	<i>Sarcotragus fasciculatus</i>	
Lotrochotidae	<i>Lotrochota birotulata</i>	X



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Microcionidae	<i>Clathria sp</i>	
Mycalidae	<i>Mycale laevis</i>	
Niphatidae	<i>Amphimedon compressa</i>	X
	<i>Niphates digitalis</i>	X
Petrosiidae	<i>Neopetrosia carbonaria</i>	
Phloeodictyidae	<i>Siphonodictyon coralliphagum</i>	
Pseudoceratinidae	<i>Pseudoceratina crassa</i>	X
Raspailiidae	<i>Ectyoplasya ferox</i>	
	<i>Ectyoplasia ferox</i>	
Scopalinidae	<i>Scopalina hispida</i>	
Tedaniidae	<i>Tedania ignis</i>	X
Tethyidae	<i>Tethya</i>	
Thorectidae	<i>Hyrtios violaceus</i>	X
<b>Anélidos</b>		
Amphinomidae	<i>Hermodice carunculata</i>	X
Eunicidae	<i>Lysidice tortugae</i>	
	<i>Palola siciliensis</i>	
Nereididae	<i>Ceratonereis mirabilis</i>	
Phascolosomatidae	<i>Antillesoma antillarum</i>	
	<i>Phascolosoma scolops</i>	
Sabellidae	<i>Anamobaea orstedii</i>	
	<i>Bispira brunnea</i>	X
	<i>Notaulax occidentalis</i>	
	<i>Notaulax tuber</i>	
	<i>Perkinsiana fonticula</i>	
	<i>Pseudopotamilla fitzhughi</i>	
Serpulidae	<i>Notaulax nudicollis</i>	
	<i>Salmacina incrustans</i>	
	<i>Hydroides mucronata</i>	
	<i>Hydroides</i>	
	<i>Hydroides parva</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Pseudovermilia multispinosa</i>	
	<i>Pseudovermilia fuscostriata</i>	
	<i>Spirobranchus giganteus</i>	X
Stichodactylidae	<i>Stichodactyla helianthus</i>	
<b>Equinodermos</b>		
Amphiuridae	<i>Amphiodia trychna</i>	
Asterinidae	<i>Asterinides folium</i>	
Astropectinidae	<i>Astropecten alligator</i>	
Brissidae	<i>Meoma ventricosa</i>	
Cassidulidae	<i>Cassidulus caribaeorum</i>	
Cidaridae	<i>Eucidaris tribuloides</i>	X
Clypeasteridae	<i>Clypeaster roseaceus</i>	
	<i>Clypeaster subdepressus</i>	
	<i>Clypeaster roseaceus</i>	
Diadematidae	<i>Diadema antillarum</i>	X
Echinasteridae	<i>Echinaster spinulosus</i>	
Echinocyamidae	<i>Echinometra viridis</i>	X
Echinometridae	<i>Echinometra lucunter</i>	
Echinoneidae	<i>Echinoneus cyclostomus</i>	
Echinothuriidae	<i>Araeosoma fenestratum</i>	
Fibulariidae	<i>Echinocyamus grandiporus</i>	
Goniasteridae	<i>Pawsonaster parvus</i>	
Gorgonocephalidae	<i>Astrophyton muricatum</i>	
Meliitidae	<i>Mellita sp.</i>	
	<i>Leodia sexiesperforata</i>	
Ophiactidae	<i>Ophiactis savignyi</i>	
Ophidiasteridae	<i>Linckia guildingi</i>	
Ophiocomidae	<i>Ophiomastix wendtii</i>	
	<i>Ophiocoma echinata</i>	
	<i>Ophiocomella pumila</i>	
	<i>Breviturma paucigranulata</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Ophiidermatidae	<i>Ophioderma rubicunda</i>	
	<i>Ophioderma cinerea</i>	
	<i>Ophioderma appressa</i>	
	<i>Ophioderma brevicauda</i>	
Ophiolepididae	<i>Ophiolepis impressa</i>	
	<i>Ophiolepis paucispina</i>	
	<i>Ophiolepis elegans</i>	
Ophiomyxidae	<i>Ophiomyxa flaccida</i>	
Ophionereididae	<i>Ophionereis reticulata</i>	
	<i>Ophionereis squamulosa</i>	
Ophiopsilidae	<i>Ophiopsila riisei</i>	
Ophiotrichidae	<i>Ophiotrix oerstedii</i>	
	<i>Ophiotrix suensoni</i>	
	<i>Ophiotrix lineata</i>	
	<i>Ophiotrix angulata</i>	
Oreasteridae	<i>Oreaster reticulatus</i>	X
Toxopneustidae	<i>Lytechinus variegatus</i>	
	<i>Lytechinus williamsi</i>	
	<i>Tripneustes ventricosus</i>	X
<b>Moluscos</b>		
Arcidae	<i>Anadara transversa</i>	
	<i>Arca imbricata</i>	
	<i>Arca zebra</i>	
	<i>Barbatia candida</i>	
	<i>Barbatia domingensis</i>	
	<i>Barbatia gray</i>	
Bullidae	<i>Bulla striata</i>	
Cardiidae	<i>Dallocardia muricata</i>	
	<i>Acrosterigma magnum</i>	
	<i>Americardia media</i>	
Cassidae	<i>Cassis sp</i>	X

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
	<i>Cassis tuberosa</i>	
	<i>Cypraecassis testiculus</i>	
Cavoliniidae	<i>Cuvierina atlantica</i>	
	<i>Diacavolinia constricta</i>	
	<i>Diacavolinia strangulata</i>	
	<i>Diacavolinia longirostris</i>	
Cerithiidae	<i>Cerithium litteratum</i>	
	<i>Cerithium eburneum</i>	
	<i>Cerithium sp.</i>	X
Chamidae	<i>Chama congregata</i>	
	<i>Chama sinuosa</i>	
Chitonidae	<i>Acanthopleura granulata</i>	
	<i>Chiton squamosus</i>	
Columbellidae	<i>Columbella mercatoria</i>	
Conidae	<i>Conus sp.</i>	X
Creseidae	<i>Hyalocylis striata</i>	
	<i>Creseis virgula</i>	
Cypraeidae	<i>Macrocypraea zebra</i>	
Diastomatidae	<i>Diastoma sp</i>	
Plakobranchidae	<i>Elysia crispata</i>	
Eoacmaeidae	<i>Eoacmaea pustulata</i>	
Eulimidae	<i>Monogamus minibulla</i>	
Fascioliariidae	<i>Hemipolygona carinifera</i>	
Fissurellidae	<i>Diodora meta</i>	
	<i>Diodora dysoni</i>	
	<i>Fissurella barbadensis</i>	
	<i>Fissurella fascicularis</i>	
Hipponicidae	<i>Hipponix antiquatus</i>	
Limacinidae	<i>Limacina trochiformis</i>	
	<i>Heliconoides inflatus</i>	
Limidae	<i>Lima lima</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Littorinidae	<i>Echinolittorina angustior</i>	
	<i>Littoraria angulifera</i>	
Loliginidae	<i>Sepioteuthis sepioidea</i>	
Lucinidae	<i>Ctena orbiculata</i>	
	<i>Codakia orbicularis</i>	
Mactridae	<i>Mactrotoma fragilis</i>	
Marginellidae	<i>Prunum guttatum</i>	
Mytilidae	<i>Brachidontes modiolus</i>	
	<i>Brachidontes exustus</i>	
Naticidae	<i>Sinum perspectivum</i>	
Neritidae	<i>Nerita versicolor</i>	
	<i>Nerita peloronta</i>	
	<i>Nerita tessellata</i>	
Octopodidae	<i>Octopus sp</i>	
	<i>Octopus insularis</i>	
	<i>Octopus briareus</i>	
	<i>Octopus maya</i>	
	<i>Octopus vulgaris</i>	
Ostreidae	<i>Dendostrea frons</i>	
Ovulidae	<i>Cyphoma gibbosum</i>	X
Pectinidae	<i>Caribachlamys ornata</i>	
Phasianellidae	<i>Tricolia risso</i>	
Pteriidae	<i>Isognomon alatus</i>	
Pteriidae	<i>Pteria colymbus</i>	
Ranellidae	<i>Charonia variegata</i>	X
Rissoinidae	<i>Rissoina dorbignyi</i>	
Semelidae	<i>Semele sp</i>	
Spirulidae	<i>Spirula spirula</i>	
Spondylidae	<i>Spondylus tenuis</i>	
Strombidae	<i>Lobatus gigas</i>	X
	<i>Lobatus costatus</i>	

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Otros invertebrados	Especies potenciales	Especies registradas en el SAR (muestreo)
Familia	Nombre científico	
Tegulidae	<i>Cittarium pica</i>	
Tellinidae	<i>Tellina linnaeus</i>	
	<i>Arcopagia fausta</i>	
	<i>Eurytellina angulosa</i>	
Terebridae	<i>Impages maryleeae</i>	
Tonnidae	<i>Tonna pennata</i>	
Turbinellidae	<i>Vasum muricatum</i>	
Turbinidae	<i>Lithopoma phoebium</i>	
Veneridae	<i>Timoclea s.</i>	
<b>Crustáceos</b>		
Diogenidae	<i>Clibanarius tricolor</i>	
	<i>Calcinus tibicen</i>	
Epialtidae	<i>Macrocoeloma diplacanthum</i>	
Inachidae	<i>Stenorhynchus seticornis</i>	X
Palinuridae	<i>Panulirus argus</i>	X
	<i>Panulirus guttatus</i>	
Paguridae	<i>Paguristes sp.</i>	X
	<i>Paguristes hernancortezii</i>	
	<i>Paguristes puncticeps</i>	
	<i>Paguristes grayi</i>	
Palaemonidae	<i>Periclimenes yucatanicus</i>	X
<b>Tunicado</b>		
Didemnidae	<i>Trididemnum solidum</i>	
<b>Zoántido</b>		
Sphenopidae	<i>Palythoa caribaeorum</i>	

\**Ragactis lucida* antes *Bartholomea lucida* (World Register of Marine Species).

Finalmente respecto a otros invertebrados, en el SAR sólo se observaron 45 especies, número muy bajo respecto a las 216 especies potenciales citadas en la bibliografía.



De manera general, considerando todos los grupos estudiados, en el SAR delimitado para el proyecto se obtuvo un total de 684 especies de biota marina potencial y 212 especies observadas in situ durante las salidas de campo realizadas.

### IV.2.2.8 Discusión

El Sistema Ambiental Regional (SAR) marino que se definió para el proyecto presenta un sistema arrecifal con poco desarrollo en su estructura, por lo que carece de la zonación típica de los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano. De esta manera, las zonas estructurales características de Laguna Arrecifal, Cresta Arrecifal y Arrecife Frontal, con 2 a 3 subzonas para cada una (*sensu* Gutiérrez, et al., 1993), no están presentes. En consecuencia, la ausencia de una barrera arrecifal genera ambientes marinos muy homogéneos, poco diversos y con escasa biota marina asociada. Dentro del polígono del SAR, y hacia el Sur de la marina, se forma una planicie de laja calcárea cubierta de sedimento y macroalgas, en donde la heterogeneidad ambiental es muy baja, con presencia escasa y dispersa de colonias de coral de tamaño pequeño, y una mayor presencia de gorgonáceos hacia la parte profunda de dicha planicie. Estas condiciones se asocian a una baja diversidad biológica, en donde los corales como principales constructores arrecifales se encuentran pobremente representados. En la parte Norte de la marina, pero fuera del SAR, existen estructuras arrecifales en forma de parche, las cuales generan un ambiente de Laguna arrecifal en la parte somera del SAR, por lo que ocurre la presencia de praderas de pasto marino en esta parte del polígono. Este tipo de ambiente también es muy homogéneo, pero posee características de sustrato y biota marina asociada diferente a los de laja, por lo que contribuye a enriquecer la diversidad biológica del sitio.

En cuanto al grado de conservación que presenta el sistema arrecifal dentro del SAR, está el hecho de la baja presencia de corales escleractinios, como principal elemento biótico por su papel como constructor arrecifal, lo cual provoca que el ambiente marino tenga escasa complejidad de ambientes, lo que se asocia con una biota marina poco diversa. El hecho de que la estructura comunitaria de los corales escleractinios es muy pobre para el área de estudio aplica, no solo por la escasa cobertura de tejido vivo y el bajo número de especies como se ha mencionado, sino también por la composición de especies presente en las distintas áreas arrecifales, ya que es notoria la dominancia de las especies *Siderastrea siderea* y *Siderastrea radians*. Hay que hacer notar que estas especies son

consideradas pioneras o ruderales en los procesos de sucesión biológica (*sensu* Grime y Pierce 2012), ya que son resistentes a la sedimentación y abrasión generada por la arena (Torres y Morelock 2002), formando una capa de mucus para retirar el sedimento (Cofforth 1985). Sin embargo, por el tamaño que alcanzan estas colonias y por su forma de crecimiento, estas especies tienen un reducido aporte a la acreción arrecifal y un papel ecológico poco relevante en los procesos biogénicos de la construcción arrecifal. En cambio, aquellas especies consideradas constructoras arrecifales, como son las del género *Acropora* en las partes someras y *Orbicella* en las intermedias y profundas, no se registraron en los muestreos de este estudio. Esto concuerda con lo descrito por Brown (1995), quien menciona que la distribución y abundancia los organismos sésiles de los bentos en un arrecife coralino está determinado por los procesos históricos, las condiciones ambientales y la dinámica de la población; así como también, la tolerancia de cada una de las especies para colonizar y permanecer en determinados sitios que cumplan con los requerimientos para poder asegurar su permanencia. Siendo así, en los ambientes con sedimento sobre el substrato se encontró una dominancia de especies resistente a la sedimentación como lo son las pertenecientes al género *Siderastrea*; mientras que en ambientes con fondo arenoso y con un componente algal y/o con pastos marinos, la especie que domino fue *Manicina aerolata*, el cual está especializado en colonizar fondos arenosos con vegetación sumergida.

La vegetación en el SAR presentó una cobertura del 40% en promedio en el muestreo de la época de lluvias, y hasta del 80% en las praderas de pasto marino; con una leve disminución en la época de secas al estimar un 35% de cobertura vegetal en promedio y 70% en el ambiente de pastos marinos. En general se considera que estos valores de abundancia no están asociados con altos índices de eutroficación del agua, a pesar de que se detectaron varios sitios donde emerge agua dulce (ojos de agua), lo cual puede ser un indicio de que no existe contaminación del agua proveniente de tierra por esta vía. Así mismo, es importante considerar que las variaciones estacionales en la cobertura y composición de especies de algas ocurren de manera natural en la comunidad vegetal, en función de la temperatura del agua.

Por su parte, los gorgonáceos solamente son importantes en el ambiente de Laja con algas y gorgonáceos, en donde se encuentra una mayor riqueza específica y abundancia, con una disminución de estos valores en el muestreo de secas; sin

embargo, estos organismos no suelen ser considerados indicadores de alguna condición específica de la salud arrecifal.

Para comunidad de peces se han realizado varios estudios que apuntan a que diversos factores son los que regulan la distribución y abundancia de peces en el arrecife (Hixon y James 1989). La complejidad estructural en los ecosistemas genera diferentes tipos de micro hábitats, con lo cual se espera que promueva una alta diversidad y abundancia de organismo que ocupen estos nuevos nichos (Crowder y Cooper 1982), de modo que la complejidad arrecifal muestra una relación directa con la abundancia y ensamble de peces arrecifales (Graham y Nash 2013), incluyendo factores que van desde las características del sustrato, disponibilidad de refugio, disponibilidad de alimento, hasta particularidades físico-químicas (MeGehee 1994, Bouchon-Navarro *et al.* 2005). De acuerdo con lo anterior, se explica la mayor densidad y riqueza de específica registrada en el ambiente de Laja con algas y gorgonáceos (La+g), puesto que la presencia de estos organismos provee sitios de refugio para varios organismos, entre ellos a los peces. La complejidad en un arrecife y/o ambiente marino, esta conferido tanto por elementos abióticos, como son rocas y relieve del sustrato, así como elementos bióticos como son colonias de coral, praderas de algas y pastos marinos. Algunos investigadores señalan que, además de la disponibilidad de refugio, también intervienen el hábitat como sitio de desove y reclutamiento (Shulman y Ogden 1987). Esto puede explicar la alta frecuencia observada de peces pequeños (categoría I). El resto de los ambientes presenta una pobre comunidad de peces, debido a que no existen estructuras o elementos que confieran un refugio para estos organismos. Es importante mencionar que se presentó una cierta estabilidad en los parámetros comunitarios estimados para la comunidad de peces entre los muestreos de la época de lluvias y secas; y que los ambientes más cercanos a la costa, como el Ar-som, se encontraron bajo la influencia de los efectos de la “marea café” causada por el arribazón masivo de *Sargassum spp.* durante la época de lluvias.

En cuanto a los invertebrados se encontró una alta variedad de especies de esponjas, durante ambas épocas del año; mientras que la variedad de otros grupos taxonómicos fue limitada. Únicamente el grupo de los equinodermos presentó un mayor número de especies registradas en el muestreo de secas, en comparación con el que se realizó en el muestreo de lluvias. En cuanto a los crustáceos y moluscos, fueron pocas especies las que se registraron en ambas épocas del año.

Ahora bien, después del análisis de la condición que guardan los diferentes grupos taxonómicos, en términos generales se puede decir que el arrecife en el SAR de este estudio se encuentra en un grado de deterioro similar al que afecta todo el Sistema Arrecifal Mesoamericano, en donde más del 50% de los arrecifes se encuentran en condición pobre o crítica debido a un decremento de la cobertura coralina asociado a un incremento de la cobertura de algas carnosas y filamentosas (Healty Reefs 2018).

Por otro lado, el área donde se tiene programado instalar los arrecifes artificiales para el proyecto, se ubicaron sobre el polígono definido para el ambiente de laja con algas que se forma en la parte somera del SAR, con la intención de evitar el área de los pastos marinos. El tipo de fondo en estos sitios varía en la composición de elementos bentónicos y relieve del fondo; así como en la profundidad a la que se encuentran. En las partes donde se observó un sustrato de laja calcárea con una capa de sedimento se genera una resuspensión de sedimentos afectando directamente a los corales; tanto en su tasa de crecimiento (Hurbbard and Scaturo 1985), fecundidad (Tomascik y Sander 1987) y generan daños en el tejido en las colonias ya existentes (Peters and Pilson 1985); además de impedir que larvas de coral se asienten en el sustrato, interfiriendo en el aumento de la población de corales en el sitio. De acuerdo a lo anterior, es entendible que la baja cobertura de tejido coralino y riqueza de especies de corales en estos ambientes, se encuentre limitado por el tipo de fondo dominante y la dinámica que este presenta, sobre todo con el movimiento de sedimento generado por las corrientes y oleaje. Para otras especies, el sustrato en este ambiente presenta algunas zonas con rugosidad y algunos componentes bentónicos como, gorgonáceos, pastos marinos y algunos trozos de laja calcárea que proporcionan refugio a peces y otros organismos. La densidad de peces vario en cada ambiente, registrándose una mayor variación en E2, donde la densidad y riqueza de especies fue baja en comparación de los otros ambientes; esto podría ser indicio del bajo relieve del fondo y poca cobertura del sustrato por otros grupos bentónicos, como los corales. También hay que considerar que estos ambientes someros en donde se pretende la instalación de los arrecifes se encuentran cerca de la costa, estando más propensos a los impactos antropogénicos y sedimentación (Brown 1997, Nyström *et al.* 2000). Por lo tanto, las especies coralinas que se localizan en estas zonas, son las que soportan o están adaptadas a estos estresores, como la especie *Siderastrea radians*, la cual fue dominante en todos los ambientes. Los sitios definidos para la instalación de las estructuras E2, E3 y E4 presentaron una mayor riqueza y cobertura, esto podría

deberse a que el ambiente E1 y E1a se encuentran más cerca de la costa y a menor profundidad, lo cual aumenta la resuspensión de sedimentos por estrés hídrico, limitado el asentamiento de colonias coralinas. Es importante mencionar que, previo al inicio de cualquier obra en estos sitios, será necesario implementar un programa de rescate y reubicación de biota marina, que considere las colonias de coral, sobre todo las que se encuentran en la ruta definida para la estructura E3 que son colonias de mayor tamaño, así como las colonias de gorgonáceos que pudieran verse afectadas.

La mayor parte de la superficie correspondiente a las **zonas de acumulación o bancos de arena** presentó un sustrato de laja, con un 40% del sustrato de laja con sedimentos y algas, un 23% de laja con algas y gorgonáceos y 7% de laja con sedimentos. Otra fracción importante de esta superficie corresponde a las praderas de pasto marino (25%), y solamente un 5% es de arenal somero, el cual pertenece a la Zona de Acumulación “A” (referido en el Anexo IV.1 como Banco A). Los ambientes encontrados en los bancos de arena, presentaron un menor relieve y una baja composición de grupos arrecifales que proporcionan rugosidad al sustrato. En este muestreo solo se registraron dos especies de coral en el transecto de muestreo; siendo estas las más resistentes a la sedimentación y pioneras en la colonización en sustratos poco consolidados. Se ha llegado a establecer que la distribución de los peces arrecifales está condicionada por varios factores, como lo son las características y relieve del sustrato y particularidades físico-químicas, lo cual también influye en la disponibilidad de alimento y de refugio, considerando que estos factores tienen una mayor incidencia en la estructura de sus comunidades (McGehee 1994; Bouchon-Navarro *et al.* 2005). Por ende, estos ambientes proporcionan poco refugio y escasas zonas de alimentación para los organismos arrecifales; siendo estas ocupadas por algunos peces en su etapa juvenil, como puede observarse en la gráfica de estructura de tallas, donde la dominancia por más del 80%, fueron de peces pequeños; sin embargo, las densidades fueron muy bajas, obteniendo, en el mejor de los casos, un pez por cada tres metros cuadrados aproximadamente.

También es importante resaltar la presencia de siete especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo III (DOF. 14 /11/2019): los corales blandos *Plexaura homomalla* y *Plexaurella dichotoma*, con un rango de abundancia de raro, en la ruta programada para la instalación de la Estructura E4 para la primera, y en los ambientes de Pastizal mixto y Laja con algas y

gorgonáceos para la segunda especie y tres especies de peces en protección especial: *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae*. Asimismo se registró la presencia de los pastos marinos *S. filiforme* y *T. testudinum* en el SAR.

Bajo este análisis de la situación actual de la estructura arrecifal y del ambiente biótico marino en el SAR del proyecto se alerta sobre la necesidad de restablecer los procesos funcionales del arrecife, con la intención de contar en el tiempo ecológico con la formación de hábitat y refugios que propician una mayor heterogeneidad ambiental y una mayor diversidad de especies; así como con la acreción de la estructura calcárea del arrecife y su permanencia como ambiente de depósito en el tiempo geológico.

Recientemente, la aplicación de un Programa de Restauración Activa mediante la siembra de corales como una alternativa cada vez más usada como medida de manejo en diversos arrecifes, y que empieza a tener resultados alentadores. Entre estos se puede citar los esfuerzos de Oceanus, A. C. que ha instalado viveros marinos para producir colonias de *Acropora palmata* por propagación clonal, trasplantando cerca de 8,000 colonias en 6 áreas protegidas desde 2007; y la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales Puerto Morelos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM que ha producido cerca de 4,000 reclutas sexuales de 3 especies de coral (*Acropora palmata*, *Orbicella annularis* y *Pseudodiploria labyrinthiformis*) (Healthy Reefs 2015). Por su parte, el Centro Regional de Investigaciones Pesqueras y Acuícolas Puerto Morelos del INAPESCA (CRIP Puerto Morelos) en colaboración con el Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc de la CONANP han trabajado en el establecimiento de viveros marinos y de acuario para producir colonias de 8 especies de coral por propagación clonal (*Acropora palmata*, *Acropora cervicornis*, *Orbicella annularis*, *Montastraea cavernosa*, *Undaria agaricites*, *Porites porites*, *Dendrogyra cylindricus*, y *Pseudodiploria clivosa*), así como reclutas sexuales de *Acropora palmata*, los cuales se han utilizado para restaurar arrecifes que han sufrido daño por encallamiento, logrando la recuperación de la cobertura coralina en los sitios restaurados por arriba del 14%, con lo que se han recuperado funciones del arrecife como incremento en la biomasa de peces y mayor heterogeneidad ambiental (Padilla-Souza 2016). Por esta razón, y bajo los planteamientos expuestos, se recomienda ampliamente analizar la factibilidad de establecer un Programa de Restauración Activa mediante el trasplante de colonias de coral para revertir los efectos del daño ambiental en sitios estratégicos; así como la implementación de



programas innovadores para mejorar los diseños de los arrecifes artificiales que se piensa instalar, con el propósito de que sirvan como sustrato para una restauración integral del ecosistema marino.

### IV.2.2.9 Conclusión

El Sistema Ambiental Regional marino definido para el proyecto presenta un sistema arrecifal con diferentes grados de desarrollo, por lo que carece de la zonación típica de los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano. La ausencia de una Cresta Arrecifal provoca que los ambientes en este sitio sean muy homogéneos y con baja diversidad biológica, en donde los corales, como principales constructores arrecifales, se encuentran pobremente representados.

La estructura comunitaria de los corales escleractinios es muy pobre, no solo por la escasa cobertura de tejido y bajo número de especies; sino también por la composición de especies con marcada dominancia de especies ruderales como las del género *Siderastrea*; y poca presencia de especies constructoras como las de los géneros *Acropora* y *Orbicella*.

El área destinada para la instalación de los arrecifes artificiales presenta una comunidad biótica pobre. Sin embargo, se recomienda implementar un programa de rescate y reubicación de biota marina previo al inicio de las obras.

En el SAR se registró la presencia de siete especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo normativo III (DOF., 14/11/2019): los corales blandos (gorgonáceos), *Plexaura homomalla* y *Plexaurella dichotoma*, los pastos marinos *S. filiforme* y *T. testudinum* y tres especies de peces en protección especial: *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae* con abundancia variable.

Se recomienda la implementación de un programa de restauración activa e integral que, de manera sinérgica con la instalación de los arrecifes artificiales, permita incrementar la heterogeneidad ambiental, a la vez de restablecer los procesos funcionales del arrecife.

### IV.2.3 Caracterización biológica adyacente al Área de Estudio

En el mundo se reconocen siete especies de tortugas marinas (Cuevas Flores *et al.* 2010). De estas siete especies, seis se distribuyen en México (*Dermochelys coriacea*, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Caretta caretta*, *Lepidochelys olivacea*, *Lepidochelys kempii*), excepto la tortuga franca oriental (*Natator depressus*) que es endémica de Australia.

Las actividades humanas han producido una disminución de las poblaciones de tortugas marinas a nivel mundial. Entre las principales amenazas se encuentran: 1) la sobreexplotación de tortugas marinas y saqueo de huevos, 2) alteración y pérdida de hábitat, 3) iluminación artificial que acompaña el desarrollo urbano, 4) turismo, 5) contaminación de costas, agua costera y marina, 6) pesquerías y captura incidental y 7) compactación de arena por tránsito de vehículos (CIT 2006). Todas estas amenazas han provocado que las tortugas marinas que ocurren en México sean catalogadas en peligro de extinción (P) de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010; catalogadas como vulnerables (VU), en peligro (EN) y en peligro crítico (CR) por la lista roja de la Unión Internacional de Conservación para la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés); y catalogadas en el Apéndice I por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, por sus siglas en inglés) (CONABIO 2017).

Ninguna especie de tortuga marina fue registrada durante los muestreos realizados en el Sistema Ambiental Regional del Proyecto. No obstante, aunque la parte continental no forme parte del Sistema Ambiental Regional (SAR) marino del presente proyecto, a continuación, se realiza una descripción de las tortugas marinas que pueden llegar a anidar en las playas adyacentes al SAR. Esta descripción se realiza ya que se considera que algunas de las tortugas marinas para arribar a dichas playas atraviesan inevitablemente por algún punto del SAR.

**En primer lugar**, para cada especie, se realizó una búsqueda bibliográfica de las especies de tortugas que pueden ocurrir en el estado de Quintana Roo y se investigó información para realizar una breve descripción de las mismas. **En segundo lugar**, se efectuó una exploración de los registros de presencia de cada especie en Quintana Roo. Los registros de presencia se obtuvieron mediante la consulta de la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés). De la base de datos recabada del GBIF, se tomaron en cuenta

únicamente registros a nivel de especie, con coordenadas geográficas y referencias no duplicadas. **En tercer lugar**, se buscó información sobre los reportes locales realizados por grupos tortugeros presentes en la playa colindante al Sistema Ambiental Regional del proyecto.

Como **primer resultado** de la búsqueda bibliográfica, se tiene que de las seis especies que se distribuyen en México, cuatro ocurren en el estado de Quintana Roo: tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*), tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) y tortuga caguama (*Caretta caretta*), todas ellas en peligro de extinción (P) de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. A continuación, se incluye una breve descripción de las especies de tortugas marinas reportadas para Quintana Roo.

**Tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*).** Es la mayor de todas las tortugas marinas vivientes. Los adultos miden de 1.30 a 2.56 m y pesan de 150 a 1,069 kg. Tienen cuerpo fusiforme y aplanado; caparazón liso con siete hileras de crestas dorsales y cinco ventrales que la recorren de la cabeza a la cola. Aletas con forma de remo y sin uñas. Amplia distribución mundial en océanos Atlántico, Pacífico e Índico. En México se encuentra en Baja California Sur, Colima, Michoacán Guerrero, Oaxaca, Chiapas y en algunos sitios de la península de Yucatán. Es carnívora, come invertebrados con cuerpo blando, como medusas, salpas, peces, crustáceos, y moluscos como pulpos y caracoles (CONABIO S/F). Es una especie en peligro de extinción (P) (NOM-059-SEMARNAT-2010), en peligro crítico (CR) (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN por sus siglas en inglés) y se encuentra en el Apéndice I de (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, CITES por sus siglas en inglés).



**Figura 214.** Tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*). Autor fotografía: Julio A. Salgado Velez.

**Tortuga verde (*Chelonia mydas*).** Es la más grande de las tortugas marinas de concha dura. Mide entre 71 cm y 1.39 m y pesa entre 68 y 235 kg. De caparazón ovalado con una quilla en los juveniles que desaparece con la edad. Su carapacho tiene cuatro escudos costales de cada lado. Cabeza relativamente pequeña y chata, con dos escamas pre-frontales y cuatro escamas detrás de los ojos. El pico es romo y sin gancho, con el borde de las mandíbulas aserrado. Vive en los océanos Pacífico, Atlántico e Índico. En México anidan en Baja California, de Sinaloa a Chiapas, Michoacán, Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Yucatán, y Quintana Roo. Los juveniles son omnívoros, comen medusas, crustáceos, moluscos, esponjas y gusanos. Los adultos se alimentan de pastos marinos, algas y algunos moluscos. Es la única tortuga marina que se sabe, puede llegar a asolearse en rocas fuera del agua (CONABIO S/F). Es una especie en peligro de extinción (P) (NOM-059-SEMARNAT-2010), en peligro crítico (CR) (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN por sus siglas en inglés) y se encuentra en el



Apéndice I de (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, CITES por sus siglas en inglés).



**Figura 215.** Tortuga verde (*Chelonia mydas*). Autor de la fotografía: Charlie Shuetrim.

**Tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*).** Mide entre 62 cm a 1.14 m y pesa alrededor de 80 kg. Tiene caparazón acorazonado que al madurar se alarga con las placas del borde puntiagudas dándole apariencia aserrada. La cabeza se adelgaza hacia la punta, mandíbula con apariencia de pico de ave, ganchudo y con bordes afilados. Con dos pares de escamas frontales, y cuatro laterales en cada lado. Vive en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. En México anida en Veracruz, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Michoacán, Jalisco, Sinaloa y Oaxaca. Las crías son carnívoras y los adultos omnívoros. Comen erizos, esponjas marinas, medusas, crustáceos, moluscos, estrellas de mar, algas y peces.

Amenazada principalmente por la obtención de las placas de su caparazón que, por su belleza y propiedades, aún son usadas para diversos productos que van desde peines hasta lentes para el sol (CONABIO S/F). Es una especie en peligro de extinción (P) (NOM-059-SEMARNAT-2010), en peligro crítico (CR) (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN por sus siglas en inglés) y se encuentra en el Apéndice I de (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, CITES por sus siglas en inglés).



**Figura 216.** Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*). Autor de la fotografía: Kevin Bryant.

**Tortuga caguama (*Caretta caretta*).** Tiene la cabeza relativamente grande en comparación al cuerpo. Los adultos miden de 72.9 cm a 1.04 m y pesan entre 65.7 y 107 kg. Tiene dos pares de escamas frontales entre los ojos. Caparazón acorazonado, con cinco escudos en el dorso y cinco de cada lado, 15 en total. Su pico córneo es grueso y de forma ganchuda achatada. Vive en los océanos Pacífico, Atlántico e Índico. En México en Baja California, y llega a los estados de



Quintana Roo, Campeche, Yucatán, Veracruz, Tabasco y Tamaulipas. Carnívora cuando cría y omnívora cuando adulta, come crustáceos, moluscos, esponjas, medusas, peces, algas y plantas marinas vasculares. Se distingue de otras tortugas marinas por su coloración más rojiza y por su cabeza más gruesa y grande (CONABIO S/F). Es una especie en peligro de extinción (P) (NOM-059-SEMARNAT-2010), en peligro crítico (CR) (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, IUCN por sus siglas en inglés) y se encuentra en el Apéndice I de (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, CITES por sus siglas en inglés).

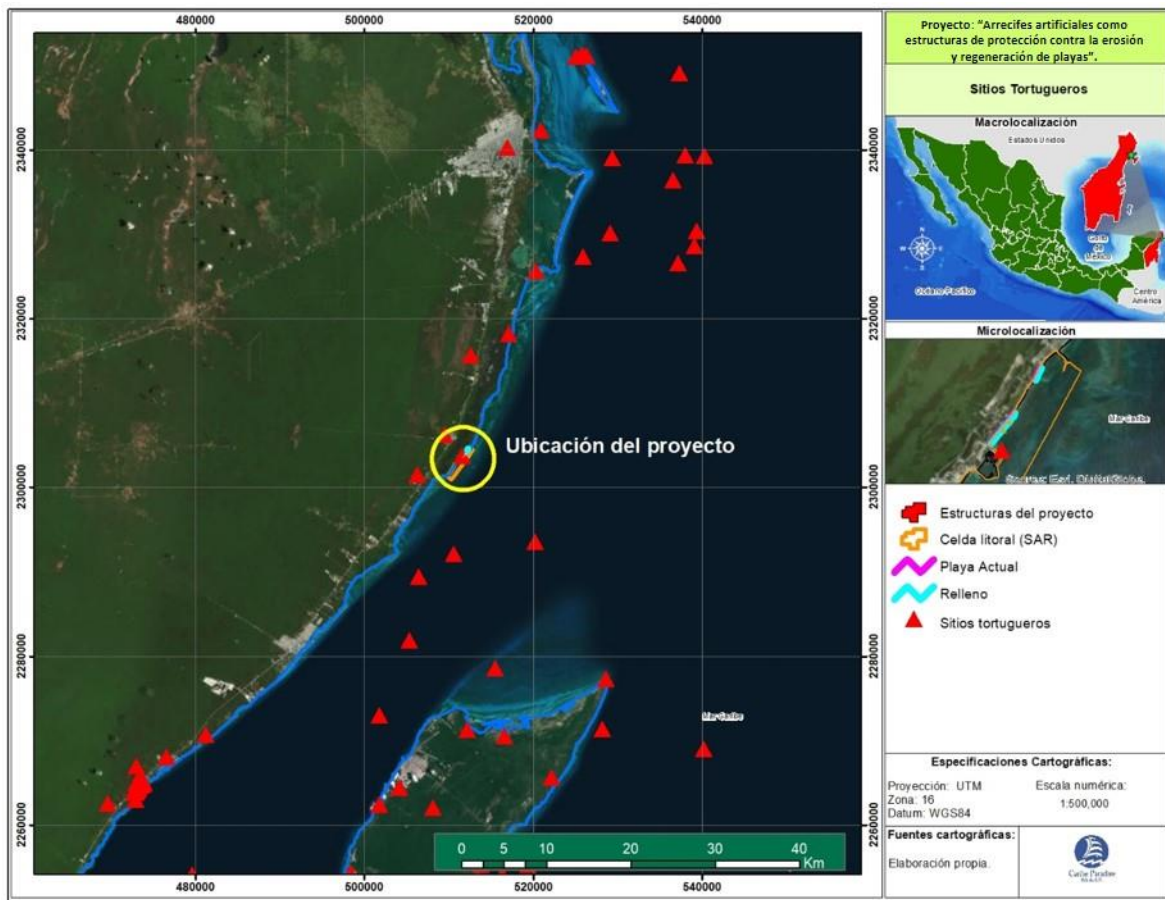


**Figura 217.** Tortuga caguama (*Caretta caretta*). Autor de la fotografía: Callieold field.

Como **segundo resultado**, a partir de GBIF se obtuvieron 304 registros de presencia de las cuatro especies de tortugas marinas que se han reportado para el estado

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

de Quintana Roo. Dichos registros abarcan un periodo de 1961 a 2019. La tortuga verde (162 registros de presencia) fue la especie para la que mayor número de registros de obtuvieron, seguida de las tortugas caguama (112 registros de presencia), carey (29 registros de presencia) y laúd (2 registros de presencia). A continuación, se incluye el mapa y las coordenadas de presencia de las cuatro especies de tortugas marinas reportadas para el estado de Quintana Roo.



**Figura 218.** Registros de presencia de las especies de tortugas verde, caguama, carey y laúd reportadas para el estado de Quintana Roo. Fuente: Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés).

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 69.** Coordenadas de presencia de las especies de tortugas verde, caguama, Carey y laúd reportadas para el estado de Quintana Roo. Fuente: Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés).

No	Especie	Y	X	Año
1	Caretta caretta	19.647855	-87.726636	2012
2	Caretta caretta	20.53755	-86.882997	2018
3	Caretta caretta	18.594863	-87.298871	2012
4	Caretta caretta	20.632985	-86.948809	2014
5	Caretta caretta	20.338333	-87.347778	1999
6	Caretta caretta	20.362499	-87.332497	1987
7	Caretta caretta	20.136011	-87.462189	1999
8	Caretta caretta	20.338333	-87.347778	1990
9	Caretta caretta	20.136011	-87.462189	1999
10	Caretta caretta	20.338333	-87.347778	1990
11	Caretta caretta	19.99	-87.463056	1993
12	Caretta caretta	20.258333	-87.408333	1993
13	Caretta caretta	20.325	-86.922222	1993
14	Caretta caretta	20.3925	-86.868056	1993
15	Caretta caretta	20.375	-87.341667	1993
16	Caretta caretta	20.508333	-87.225	1993
17	Caretta caretta	20.591667	-86.725	1993
18	Caretta caretta	20.458333	-87.291667	1993
19	Caretta caretta	20.358333	-87.341667	1993
20	Caretta caretta	20.375	-86.886111	1993
21	Caretta caretta	19.3125	-87.446667	1993
22	Caretta caretta	20.531944	-87.18	1993
23	Caretta caretta	19.882778	-87.431944	1993
24	Caretta caretta	20.401389	-86.8575	1993
25	Caretta caretta	20.280556	-86.975	1993
26	Caretta caretta	20.1275	-87.463333	1993
27	Caretta caretta	18.541667	-87.741667	1993
28	Caretta caretta	20.352778	-86.891667	1993
29	Caretta caretta	20.343056	-87.350833	1993
30	Caretta caretta	20.408333	-86.85	1993
31	Caretta caretta	20.344444	-86.898611	1993
32	Caretta caretta	20.308333	-86.938889	1993
33	Caretta caretta	20.475	-87.258333	1987
34	Caretta caretta	20.375	-86.880556	1993
35	Caretta caretta	20.166667	-87.45	1993
36	Caretta caretta	21.258333	-86.758333	
37	Caretta caretta	20.470414	-87.260444	2010
38	Caretta caretta	20.472114	-87.259058	2010
39	Caretta caretta	20.470322	-87.260472	2010
40	Caretta caretta	20.478989	-87.253939	2010
41	Caretta caretta	20.470875	-87.260081	2010
42	Caretta caretta	20.471147	-87.259047	2010
43	Caretta caretta	20.480275	-87.252378	2010
44	Caretta caretta	20.480908	-87.251517	2010
45	Caretta caretta	20.481286	-87.252475	2010
46	Caretta caretta	20.478736	-87.254217	2010
47	Caretta caretta	20.476808	-87.256217	2010
48	Caretta caretta	20.481003	-87.255811	2010
49	Caretta caretta	20.470622	-87.260128	2010
50	Caretta caretta	20.471028	-87.260072	2010
51	Caretta caretta	20.478375	-87.254761	2010
52	Caretta caretta	20.479169	-87.253708	2010
53	Caretta caretta	20.472158	-87.259067	2010
54	Caretta caretta	20.471961	-87.2592	2010
55	Caretta caretta	20.470731	-87.260147	2010
56	Caretta caretta	20.480719	-87.251678	2010
57	Caretta caretta	20.4789	-87.254064	2010
58	Caretta caretta	20.470819	-87.260128	2010
59	Caretta caretta	20.47065	-87.259947	2010
60	Caretta caretta	20.469736	-87.261086	2010
61	Caretta caretta	20.479814	-87.253097	2010
62	Caretta caretta	20.472114	-87.259058	2010
63	Caretta caretta	20.472114	-87.259058	2010
64	Caretta caretta	20.462256	-87.259492	2010
65	Caretta caretta	20.471283	-87.259814	2010
66	Caretta caretta	20.476781	-87.256342	2010
67	Caretta caretta	20.470125	-87.260769	2010
68	Caretta caretta	20.478283	-87.254917	2010
69	Caretta caretta	20.478247	-87.254944	2010
70	Caretta caretta	20.481372	-87.256128	2010
71	Caretta caretta	20.471978	-87.259211	2010
72	Caretta caretta	20.481064	-87.250922	2010
73	Caretta caretta	20.471244	-87.259853	2010
74	Caretta caretta	20.471028	-87.259947	2010
75	Caretta caretta	20.480167	-87.252472	2010
76	Caretta caretta	20.474086	-87.257172	2010
77	Caretta caretta	20.471136	-87.260639	2010
78	Caretta caretta	20.479	-87.253719	2010

No	Especie	Y	X	Año
79	Caretta caretta	20.471219	-87.259842	2010
80	Caretta caretta	20.477897	-87.254128	2010
81	Caretta caretta	20.472114	-87.259058	2010
82	Caretta caretta	20.478858	-87.256192	2010
83	Caretta caretta	20.480239	-87.252397	2010
84	Caretta caretta	20.480167	-87.252472	2010
85	Caretta caretta	20.479297	-87.253536	2010
86	Caretta caretta	20.478364	-87.2548	2010
87	Caretta caretta	20.470033	-87.260875	2010
88	Caretta caretta	20.478483	-87.254608	2010
89	Caretta caretta	20.480808	-87.251642	2010
90	Caretta caretta	20.481089	-87.251208	2010
91	Caretta caretta	20.470222	-87.260664	2010
92	Caretta caretta	20.470358	-87.260464	2010
93	Caretta caretta	20.476708	-87.256381	2010
94	Caretta caretta	20.476781	-87.256247	2010
95	Caretta caretta	20.477731	-87.255394	2010
96	Caretta caretta	20.472167	-87.259517	2010
97	Caretta caretta	20.479242	-87.253633	2010
98	Caretta caretta	20.498356	-87.259206	2010
99	Caretta caretta	20.474919	-87.257422	2010
100	Caretta caretta	20.478781	-87.255453	2010
101	Caretta caretta	20.293408	-87.380795	2018
102	Caretta caretta	20.028599	-87.531814	2018
103	Caretta caretta	19.698561	-87.472109	2007
104	Caretta caretta	20.270578	-87.280422	2017
105	Caretta caretta	20.552725	-86.98262	2017
106	Caretta caretta	20.253086	-86.857571	2015
107	Caretta caretta	19.311895	-87.592067	2015
108	Caretta caretta	19.899729	-87.558829	2015
109	Caretta caretta	21.2588961	-86.74648168	1961
110	Caretta caretta	21.2588961	-86.74648168	1961
111	Caretta caretta	21.2588961	-86.74648168	1961
112	Caretta caretta	21.20056878	-86.70981067	1962
1	Chelonia mydas	18.458065	-87.704942	2019
2	Chelonia mydas	19.661254	-87.539874	2018
3	Chelonia mydas	21.03704	-86.642185	2018
4	Chelonia mydas	20.32387	-87.331253	2014
5	Chelonia mydas	21.117977	-86.798333	2014
6	Chelonia mydas	20.516498	-86.61443	2018
7	Chelonia mydas	20.725994	-86.898082	2014
8	Chelonia mydas	20.603101	-86.851382	2014
9	Chelonia mydas	21.151447	-86.611609	2013
10	Chelonia mydas	20.701273	-86.938277	2014
11	Chelonia mydas	20.738554	-86.80566	2014
12	Chelonia mydas	20.136011	-87.462189	1999
13	Chelonia mydas	20.338333	-87.347778	1990
14	Chelonia mydas	20.136011	-87.462189	1999
15	Chelonia mydas	20.362499	-87.332497	1987
16	Chelonia mydas	20.338333	-87.347778	1990
17	Chelonia mydas	20.338333	-87.347778	1999
18	Chelonia mydas	20.136011	-87.462189	1999
19	Chelonia mydas	20.136011	-87.462189	1999
20	Chelonia mydas	20.136011	-87.462189	1999
21	Chelonia mydas	20.591667	-86.725	1993
22	Chelonia mydas	20.343056	-87.350833	1993
23	Chelonia mydas	20.401389	-86.8575	1993
24	Chelonia mydas	19.99	-87.463056	1993
25	Chelonia mydas	20.458333	-87.291667	1993
26	Chelonia mydas	20.408333	-86.85	1993
27	Chelonia mydas	20.3925	-86.868056	1993
28	Chelonia mydas	20.166667	-87.45	1993
29	Chelonia mydas	18.541667	-87.741667	1993
30	Chelonia mydas	20.375	-86.886111	1993
31	Chelonia mydas	19.882778	-87.431944	1993
32	Chelonia mydas	20.344444	-86.898611	1993
33	Chelonia mydas	20.280556	-86.975	1993
34	Chelonia mydas	19.3125	-87.446667	1993
35	Chelonia mydas	20.258333	-87.408333	1993
36	Chelonia mydas	20.508333	-87.225	1993
37	Chelonia mydas	20.358333	-87.341667	1993
38	Chelonia mydas	20.1275	-87.463333	1993
39	Chelonia mydas	20.352778	-86.891667	1993
40	Chelonia mydas	20.308333	-86.938889	1993
41	Chelonia mydas	20.531944	-87.18	1993
42	Chelonia mydas	20.375	-86.880556	1993
43	Chelonia mydas	20.325	-86.922222	1993
44	Chelonia mydas	20.375	-87.341667	1993



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

No	Especie	Y	X	Año
45	Chelonia mydas	20.830833	-86.888333	1994
46	Chelonia mydas	21.26	-86.75	1973
47	Chelonia mydas	20.471164	-87.259889	2010
48	Chelonia mydas	20.4788	-87.254225	2010
49	Chelonia mydas	20.469817	-87.261039	2010
50	Chelonia mydas	20.472114	-87.259058	2010
51	Chelonia mydas	20.470442	-87.260475	2010
52	Chelonia mydas	20.480103	-87.252597	2010
53	Chelonia mydas	20.480031	-87.252789	2010
54	Chelonia mydas	20.479044	-87.253806	2010
55	Chelonia mydas	20.471047	-87.259994	2010
56	Chelonia mydas	20.471881	-87.259278	2010
57	Chelonia mydas	20.480928	-87.251525	2010
58	Chelonia mydas	20.471769	-87.259392	2010
59	Chelonia mydas	20.478067	-87.255117	2010
60	Chelonia mydas	20.470883	-87.260042	2010
61	Chelonia mydas	20.472258	-87.259508	2010
62	Chelonia mydas	20.475025	-87.257575	2010
63	Chelonia mydas	20.478864	-87.254111	2010
64	Chelonia mydas	20.477875	-87.255547	2010
65	Chelonia mydas	20.470169	-87.260569	2010
66	Chelonia mydas	20.471172	-87.259869	2010
67	Chelonia mydas	20.479433	-87.253478	2010
68	Chelonia mydas	20.471047	-87.259986	2010
69	Chelonia mydas	20.480953	-87.251467	2010
70	Chelonia mydas	20.477831	-87.255461	2010
71	Chelonia mydas	20.472114	-87.259058	2010
72	Chelonia mydas	20.474431	-87.257286	2010
73	Chelonia mydas	20.476736	-87.256361	2010
74	Chelonia mydas	20.475317	-87.257297	2010
75	Chelonia mydas	20.480103	-87.252664	2010
76	Chelonia mydas	20.474683	-87.257575	2010
77	Chelonia mydas	20.478692	-87.254264	2010
78	Chelonia mydas	20.471192	-87.259889	2010
79	Chelonia mydas	20.478103	-87.255097	2010
80	Chelonia mydas	20.477433	-87.255758	2010
81	Chelonia mydas	20.471489	-87.259669	2010
82	Chelonia mydas	20.477958	-87.255242	2010
83	Chelonia mydas	20.47195	-87.261119	2010
84	Chelonia mydas	20.47785	-87.255453	2010
85	Chelonia mydas	20.477822	-87.255356	2010
86	Chelonia mydas	20.471011	-87.260006	2010
87	Chelonia mydas	20.480664	-87.251889	2010
88	Chelonia mydas	20.481161	-87.252475	2010
89	Chelonia mydas	20.47745	-87.255731	2010
90	Chelonia mydas	20.478347	-87.254792	2010
91	Chelonia mydas	20.478778	-87.255836	2010
92	Chelonia mydas	20.478411	-87.254628	2010
93	Chelonia mydas	20.479081	-87.253986	2010
94	Chelonia mydas	20.480203	-87.252472	2010
95	Chelonia mydas	20.479169	-87.253911	2010
96	Chelonia mydas	20.471797	-87.259353	2010
97	Chelonia mydas	20.478339	-87.2548	2010
98	Chelonia mydas	20.480231	-87.252456	2010
99	Chelonia mydas	20.478547	-87.25435	2010
100	Chelonia mydas	20.481028	-87.250997	2010
101	Chelonia mydas	20.478239	-87.254831	2010
102	Chelonia mydas	20.479447	-87.250717	2010
103	Chelonia mydas	20.480997	-87.259225	2010
104	Chelonia mydas	20.471942	-87.2592	2010
105	Chelonia mydas	20.479189	-87.253708	2010
106	Chelonia mydas	20.479181	-87.253756	2010
107	Chelonia mydas	20.471136	-87.259853	2010
108	Chelonia mydas	20.479578	-87.253739	2010
109	Chelonia mydas	20.479378	-87.253567	2010
110	Chelonia mydas	20.477722	-87.255519	2010
111	Chelonia mydas	20.477831	-87.255403	2010
112	Chelonia mydas	20.480256	-87.252378	2010
113	Chelonia mydas	20.478556	-87.254417	2010
114	Chelonia mydas	20.480628	-87.251947	2010
115	Chelonia mydas	20.477053	-87.256122	2010
116	Chelonia mydas	20.470342	-87.260483	2010
117	Chelonia mydas	21.388901	-86.774795	2018
118	Chelonia mydas	20.070335	-87.425766	2018
119	Chelonia mydas	20.314009	-87.351277	2016

No	Especie	Y	X	Año
120	Chelonia mydas	19.74413	-87.517865	2015
121	Chelonia mydas	21.452224	-87.320795	2005
122	Chelonia mydas	20.454016	-86.921896	2017
123	Chelonia mydas	21.055409	-86.623038	2017
124	Chelonia mydas	21.125824	-86.647985	2017
125	Chelonia mydas	20.382599	-86.843551	2017
126	Chelonia mydas	20.207798	-87.360813	2017
127	Chelonia mydas	20.362324	-87.325174	2017
128	Chelonia mydas	20.208748	-87.337629	2017
129	Chelonia mydas	19.632855	-87.507083	2017
130	Chelonia mydas	21.561746	-86.791549	2015
131	Chelonia mydas	20.250738	-87.217004	2017
132	Chelonia mydas	20.294831	-87.283296	2016
133	Chelonia mydas	19.728425	-87.546857	2017
134	Chelonia mydas	21.149145	-86.717328	2011
135	Chelonia mydas	20.324935	-87.347359	2016
136	Chelonia mydas	21.75997	-87.068267	2014
137	Chelonia mydas	20.938677	-86.878491	2014
138	Chelonia mydas	20.365968	-87.57434	2016
139	Chelonia mydas	21.445199	-86.756162	2016
140	Chelonia mydas	21.430244	-86.899484	2016
141	Chelonia mydas	20.25566	-87.331743	2015
142	Chelonia mydas	21.563527	-86.722616	2015
143	Chelonia mydas	21.161108	-86.837124	2014
144	Chelonia mydas	20.3625	-87.3325	1987
145	Chelonia mydas	20.237036	-87.200046	2014
146	Chelonia mydas	20.290445	-87.249406	2016
147	Chelonia mydas	20.333238	-87.381087	2014
148	Chelonia mydas	20.229718	-87.329463	2014
149	Chelonia mydas	20.284984	-87.23749	2010
150	Chelonia mydas	21.381605	-86.720317	2015
151	Chelonia mydas	21.240559	-86.640182	2015
152	Chelonia mydas	21.152772	-86.634036	2015
153	Chelonia mydas	21.25862211	-86.7514788	1978
154	Chelonia mydas	20.475203	-86.95983	2015
155	Chelonia mydas	20.323918	-87.274265	2015
156	Chelonia mydas	21.028965	-86.804639	2013
157	Chelonia mydas	21.043815	-86.750226	2006
158	Chelonia mydas	20.317522	-87.36532	2012
159	Chelonia mydas	20.530922	-86.840397	2012
160	Chelonia mydas	20.057797	-87.546466	2009
161	Chelonia mydas	20.3393756	-86.91648373	1962
1	Dermochelys coriacea	21.538558	-87.188244	2005
2	Dermochelys coriacea	20.961147	-86.835275	2014
1	Eretmochelys imbricata	20.38375	-87.015851	2018
2	Eretmochelys imbricata	20.283977	-87.285563	2014
3	Eretmochelys imbricata	19.290743	-87.415126	2013
4	Eretmochelys imbricata	20.338333	-87.347778	1990
5	Eretmochelys imbricata	18.541667	-87.741667	1993
6	Eretmochelys imbricata	21.491667	-86.791667	
7	Eretmochelys imbricata	20.537871	-86.72934	2018
8	Eretmochelys imbricata	20.485967	-86.787022	2018
9	Eretmochelys imbricata	20.392443	-86.814073	2018
10	Eretmochelys imbricata	19.960423	-87.478677	2015
11	Eretmochelys imbricata	20.351574	-87.067435	2017
12	Eretmochelys imbricata	20.368387	-87.027138	2017
13	Eretmochelys imbricata	20.216329	-87.02359	2017
14	Eretmochelys imbricata	20.247557	-87.281356	2017
15	Eretmochelys imbricata	20.230364	-87.120338	2017
16	Eretmochelys imbricata	20.382103	-87.195392	2017
17	Eretmochelys imbricata	21.069116	-86.71974	2017
18	Eretmochelys imbricata	21.071179	-86.620782	2017
19	Eretmochelys imbricata	20.263885	-87.004424	2017
20	Eretmochelys imbricata	19.627977	-87.582703	2016
21	Eretmochelys imbricata	20.853601	-86.909187	2009
22	Eretmochelys imbricata	20.45718	-86.982888	2013
23	Eretmochelys imbricata	18.278123	-87.991556	2014
24	Eretmochelys imbricata	21.420764	-86.627539	2016
25	Eretmochelys imbricata	20.3625	-87.3325	1987
26	Eretmochelys imbricata	18.274825	-87.961101	2016
27	Eretmochelys imbricata	21.25862211	-86.7514788	1978
28	Eretmochelys imbricata	20.81073	-86.939666	2015
29	Eretmochelys imbricata	21.48539992	-86.79083126	1961

Finalmente, **como tercer resultado**, se obtuvieron datos del monitoreo de tortugas realizado en la playa colindante al Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto. Los datos registrados fueron: especie de tortuga marina, número de nidos, número

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

de huevos, número de huevos eclosionados, número de huevos infértiles, número de crías liberadas y número de crías muertas. Dichos datos fueron recabados los años 2006 y 2007, en la playa colindante al Sistema Ambiental Regional desde Punta Brava hasta el Muelle Fiscal. Posteriormente, cada hotel se hizo responsable de la colecta de datos de tortugas marinas en su playa, por lo que del año 2011 al 2018, el hotel asociado al proyecto obtuvo datos de tortugas en la playa frente donde se ubicarán los arrecifes artificiales, a través del “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”. Cabe señalar, que de 2008 a 2010, no se tuvieron datos disponibles (ND = No disponible) de tortugas marinas en la playa adyacente al SAR.

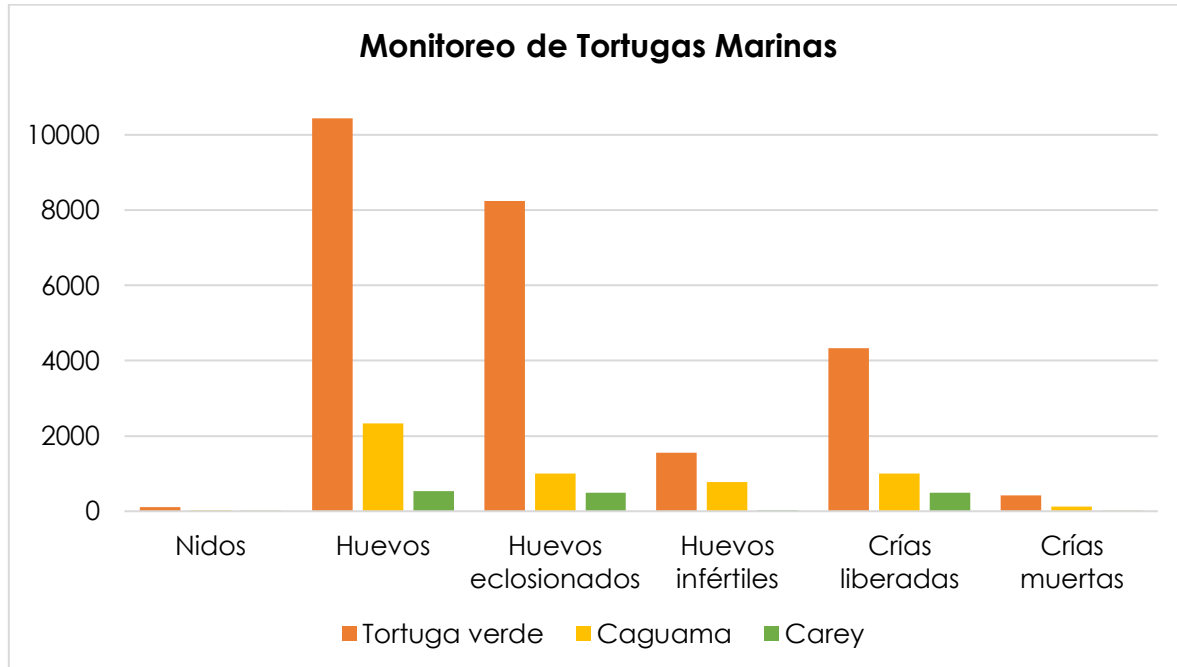
Como **resultado del monitoreo** se registraron tres especies de tortugas marinas en la playa adyacente al Sistema Ambiental Regional del proyecto, las cuales son: tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga caguama (*Caretta caretta*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*). Como se puede observar en la tabla siguiente y figura, la especie con el mayor de número de nidos, huevos puestos, huevos eclosionados, huevos infértiles, crías liberadas y crías muertas fue la tortuga verde (*Chelonia mydas*), seguida por la tortuga caguama (*Caretta caretta*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*). Asimismo, se puede observar en la tabla siguiente, que el mayor número de registros fueron los que se obtuvieron en los años 2006 y 2007, ya que fue el periodo en el que se colectaron datos en toda la playa frente a la celda litoral del proyecto.

**Tabla 70.** Resultados del monitoreo de tortugas marinas en la playa colindante al Sistema Ambiental Regional del proyecto.

Sp.	Playa	P. Brava a Muelle Fiscal		Hotel El Cid								Total
		2006	2007	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Chelonia mydas	No. de nidos	48	17	2	2	9	7	3	6	6	6	106
	No. de huevos	4544	1952	223	257	1030	689	339	532	569	299	10434
	No. huevos eclosionados	4150	1738	182	215	718	525	284	331	103	ND	8246
	Huevos infértiles	425	152	41	42	64	124	50	185	470	ND	1553
	crías liberadas	78	1738	182	215	718	525	284	331	102	164	4337
	crías muertas	47	62	0	0	248	40	5	16	1	2	421
Caretta caretta	No. de nidos	8	4	ND	ND	ND	ND	1	ND	8	ND	21
	No. de huevos	952	446	ND	ND	ND	ND	118	ND	823	ND	2339
	No. huevos eclosionados	440	279	ND	ND	ND	ND	113	ND	166	ND	998
	Huevos infértiles	43	69	ND	ND	ND	ND	3	ND	657	ND	772
	crías liberadas	458	279	ND	ND	ND	ND	113	ND	156	ND	1006
	crías muertas	11	98	ND	ND	ND	ND	2	ND	10	ND	121
Eretmochelys imbricata	No. de nidos	ND	2	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5
	No. de huevos	ND	229	298	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	527
	No. huevos eclosionados	ND	228	268	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	496

Sp.	Playa	P. Brava a Muelle Fiscal		Hotel El Cid								Total
	Año	2006	2007	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
	Huevos infértiles	ND	0	30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	30
	crías liberadas	ND	228	268	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	496
	crías muertas	ND	1	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1

ND = No disponible.



**Figura 219.** Resultados del monitoreo de tortugas marinas en la playa adyacente al Sistema Ambiental Regional del proyecto.

#### IV.2.4 Paisaje

Según la RAE (2019), el paisaje es la parte de un territorio que puede ser observada desde un determinado lugar. En sentido geomorfológico se denomina paisaje al aspecto general de una región, determinado por el conjunto de geoformas (relieve tallado o construido sobre un sustrato, resultado tanto de la erosión como de la acumulación de sedimentos sobre los relieves emergidos de las áreas continentales). La geoforma comprende todos los elementos vinculados con la morfología de la superficie terrestre (clima, relieve, litología, geomorfología, suelos y cubierta vegetal con su fauna asociada) (Morláns 2005).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Desde el punto de vista ecológico, el paisaje representa una porción del espacio geográfico, homogéneo en cuanto a su fisionomía y composición, con patrón de estabilidad temporal resultante de la interacción compleja del clima, las rocas, el agua, el suelo, la flora, la fauna y las actividades humanas, reconocible y diferenciable de otras vecinas de acuerdo con un nivel de análisis (resolución) espacio-temporal (Etter 1990).

Así, los paisajes contemporáneos son mayoritariamente paisajes transformados en distintos grados como consecuencia de la actividad milenaria de diferentes formas de organización social humana; por tal motivo y en lo que respecta al planeta Tierra, la consideración de los procesos antrópicos es inevitable (Morlans 2005).

Finalmente, de acuerdo con la Guía para la elaboración de una manifestación de impacto ambiental modalidad regional, el paisaje representa un elemento unificador de todos los componentes del medio biótico y abiótico, así como un elemento expuesto a efectos positivos y negativos que podría producir un proyecto determinado. En este sentido, el propósito del presente apartado consiste en determinar la: 1) **visibilidad** (*i.e.*, es el espacio del territorio que puede apreciarse desde un punto o zona determinada); 2) **la calidad paisajística** (*i.e.*, incluye a la *calidad visual del entorno inmediato*, situado a una distancia de 500 a 700 m, apreciándose valores tales como las formaciones vegetales, litología, grandes masas de agua; y la *calidad del fondo escénico*, es decir el fondo visual del área donde se establecerá el proyecto); y 3) la **fragilidad visual** (*i.e.*, es la capacidad del mismo para absorber los cambios que se producen en él; los factores que lo integran se pueden clasificar en *biofísicos*, como el suelo, estructura y diversidad de la vegetación, contraste cromático, etc. y *morfológicos* como el tamaño y forma de la cuenca visual, altura relativa, puntos y zonas singulares) del área de estudio (SEMARNAT S/F).

A continuación, se presenta una descripción de las características del paisaje en el Sistema Ambiental Regional del proyecto.

1) **Visibilidad.** El paisaje del Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto comprende una celda litoral, que abarca la zona marina, desde Punta Brava al sur hasta el Muelle Fiscal al noroeste. La visibilidad en la playa se ve limitada por construcciones (*i.e.*, hoteles, algunas casas habitación y La Marina) y vegetación de duna hacia tierra adentro (la mayor parte de esta vegetación se observa

pasando el Hotel Now Jade Riviera Cancún hacia Punta Brava, y otra parte de la vegetación se observa entre el Hotel Ventus Marina El Cid y el Caribbean Reef Villas). Al este la visibilidad es amplia en lo que se refiere a la parte marina.



**Figura 220.** Límite oeste del Sistema Ambiental Regional del proyecto en el que se observan algunas edificaciones, así como vegetación rastrera de duna costera.

## 2) Calidad paisajística

**Calidad visual del entorno inmediato (de 500 a 700 m de distancia).** El límite terrestre (oeste) del Sistema Ambiental Regional (SAR) desde La Marina hasta Punta Brava, muestra una calidad visual media-alta, ya que a pesar de que existen construcciones, aún conserva una buena parte de su vegetación y la parte marina del SAR que se encuentra frente a ella también muestra claridad en el mar a pesar de la presencia eventual del sargazo. Por otro lado, el límite terrestre (oeste) del

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Sistema Ambiental Regional (SAR) desde La Marina hasta el Muelle Fiscal, muestra una baja calidad visual, ya que la presencia de los espigones, el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos produjeron el establecimiento de una celda de afectación que interrumpe las corrientes y los flujos de arena, generando en conjunto la erosión de playa que actualmente se observa; dada la interrupción de las corrientes, también se observa una baja calidad visual en el área marina frente a esta playa, que se agrava por la presencia eventual del sargazo.



**Figura 221.** Calidad visual del entorno inmediato. Arriba: Paisaje entre La Marina en dirección a Punta Brava. Abajo: Paisaje entre los espigones.





**Calidad del fondo escénico.** El límite terrestre (oeste) del Sistema Ambiental Regional del proyecto presenta vegetación natural irregular dada por la fragmentación de las edificaciones. En la parte marina (este) donde se establecerá el proyecto la presencia de los espigones disminuyen la naturalidad del paisaje. Una vez que los espigones sean sustituidos por los andadores piloteados de madera y la circulación de las corrientes y flujos de arena mejoren, se espera que produzca una mejoría en la calidad del fondo escénico marino.

**3) Fragilidad visual.** Se detectó una alta fragilidad visual en el límite terrestre del Sistema Ambiental Regional, ya que se observó basura y sargazo frente a los sitios donde no hay hoteles. No obstante, los frentes de playa de los hoteles se mantienen limpios de basura y sargazo.



**Figura 222.** Arriba: paisaje con basura (izquierda) y sargazo (derecha). Abajo: limpieza de playa de uno de los hoteles que están frente al límite del Sistema Ambiental Regional del proyecto.

### IV.2.5 Medio socioeconómico

#### IV.2.5.1 Demografía

Como se mencionó al principio de este capítulo, el proyecto se localiza en el municipio de Puerto Morelos al noroeste del estado de Quintana Roo. Anteriormente, este municipio era una localidad que formaba parte del municipio de Benito Juárez. No obstante, el 6 de noviembre de 2015 la XIV Legislatura del Congreso del Estado de Quintana Roo declaró formalmente a esta localidad como el onceavo municipio de esa entidad, tras fraccionar el municipio Benito Juárez. El decreto de creación de nuevo municipio entró en vigor el 6 de enero de 2016 (INFDM 2018). Por lo tanto, el municipio de Puerto Morelos recién cumple su tercer año como municipio.



**Figura 223.** Ubicación del Sistema Ambiental Regional (SAR) en el municipio de Puerto Morelos en el Estado de Quintana Roo. Fuente: INEGI 2018.

El municipio de Puerto Morelos cuenta con una superficie de 104,392 hectáreas. Comprende las localidades de Puerto Morelos, Leona Vicario y Central Vallarta. Puerto Morelos es la cabecera municipal. De acuerdo con SEDESOL (2013), para el año 2010, Puerto Morelos era la localidad más poblada, ya que concentraba más

de la mitad de la población del municipio (58.43%), seguida de la localidad de Leona Vicario, y finalmente, Central Vallarta. Actualmente no se cuenta con el registro de población para cada localidad, sin embargo, el INFDM (2018), señala que para el año 2015, la población total del municipio era de 37,099 personas. La tabla siguiente muestra la distribución de la población en las localidades del municipio de Puerto Morelos en los años 2005 y 2010 (INEGI 2010, SEDESOL (2013).

**Tabla 71.** Distribución de la población municipal en las tres localidades del municipio de Puerto Morelos. Fuente: INEGI (2010), SEDESOL (2013), INFDM (2018).

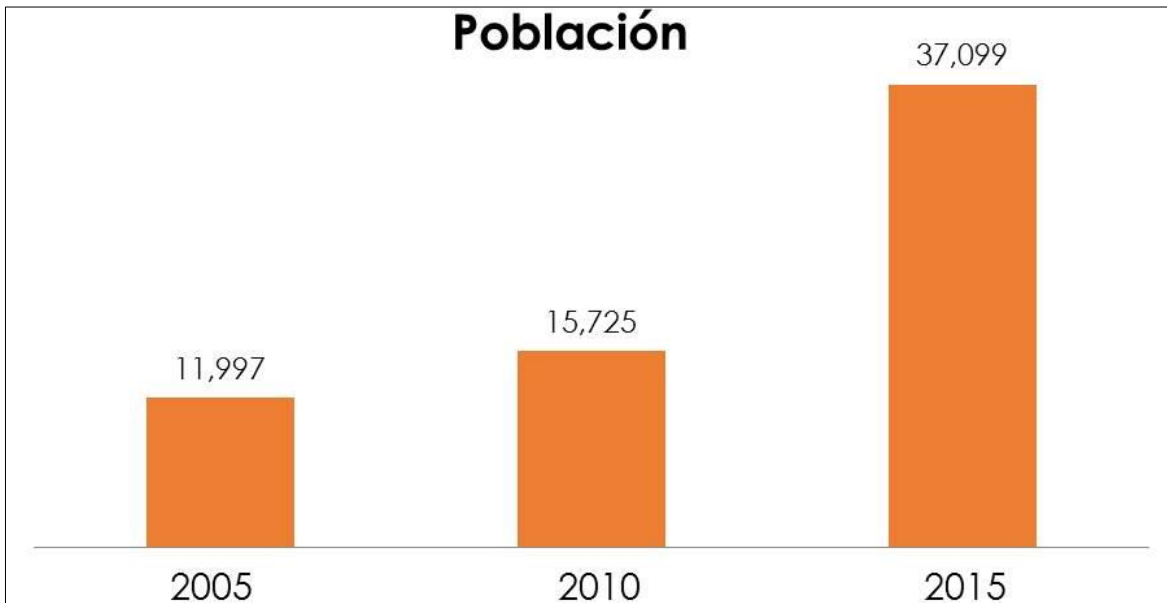
Localidad	2005		2010		2015
	Población	Porcentaje	Población	Porcentaje	
Leona Vicario	5,358	44.66	6,517	41.44	
Puerto Morelos	6,629	55.25	9,188	58.42	
Central Vallarta	10	0.08	20	0.12	
<b>Total del municipio</b>	11,997	100	15,725	100	37,099

En síntesis, las cifras presentadas evidencian una distribución heterogénea de la población, la cual ha generado un patrón de estructuración diferente, ya que, por una parte, la localidad de Puerto Morelos ha sido núcleo de atracción turística, mientras que, por ejemplo, Central Vallarta a juzgar por el tamaño de su población es todavía rural. El **Sistema Ambiental Regional** del proyecto se encuentra adyacente a la localidad de Puerto Morelos.

### a. Crecimiento y distribución de la población

De acuerdo con datos disponibles de INEGI (2010) e INFDM (2018), se tiene que de 2005 a 2015 el incremento de la población en el municipio de Puerto Morelos fue acelerado, ya que su población se triplicó. Con respecto a la distribución de su población, se observa que la mayor parte de ella se concentra en centros urbanos y turísticos como la localidad de Puerto Morelos y Leona Vicario.





**Figura 224.** Crecimiento poblacional del municipio de Puerto Morelos. Fuente: INEGI (2010) e INFDM (2018).

### b. Estructura por sexo

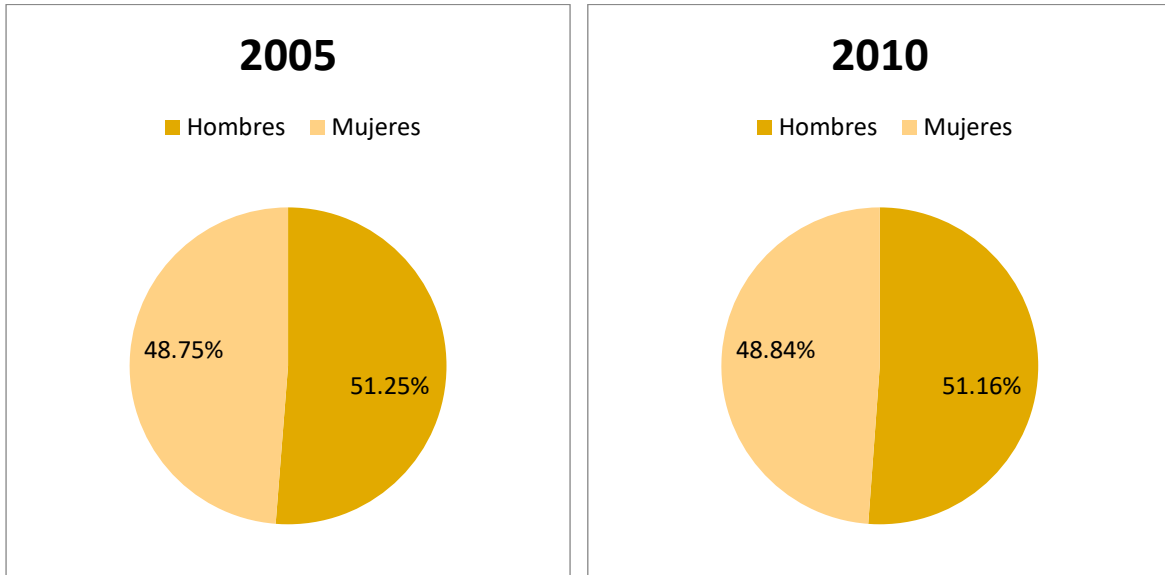
De acuerdo con información disponible de INEGI (2010), de las 15,725 personas que habitaban el Municipio en 2010, 8,045 eran hombres y 7,680 eran mujeres. Mientras que de las 11,997 personas que habitaban el Municipio en 2005, 6,148 eran hombres y 5,849 eran mujeres.

**Tabla 72.** Estructura por sexo en los años 2005 y 2010 en el municipio de Puerto Morelos, Quintana Roo.

Año	2005			2010		
	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Leona Vicario	2,783	2,575	5,358	3,366	3,151	6,517
Puerto Morelos	3,360	3,269	6,629	4,667	4,521	9,188
Central Vallarta	5	5	10	12	8	20
<b>Total del municipio</b>	<b>6,148</b>	<b>5,849</b>	<b>11,997</b>	<b>8,045</b>	<b>7,680</b>	<b>15,725</b>

Para el año 2005, la relación de género del municipio era de 97.01 mujeres por cada 100 hombres. Mientras que para el año 2010, la relación de género del municipio era de 96.35 mujeres por cada 100 hombres. En la siguiente gráfica se puede apreciar el porcentaje de la población total municipal que pertenecía a

cada género en los años 2005 y 2010. En ambos casos, se puede observar que existían más hombres que mujeres en el municipio.



**Figura 225.** Relación entre hombres y mujeres en los años 2005 y 2010 en el municipio de Puerto Morelos.

### c. Natalidad y mortalidad

Para el año 2010, la tasa de fecundidad de la población femenina es de 2.65 hijos por mujer en la localidad de Leona Vicario, 2.29 hijos por mujer en la localidad de Central Vallarta y 1.81 hijos por mujer en la localidad de Puerto Morelos (INEGI 2010). No se tienen datos específicos sobre la tasa de mortalidad para estas tres. No obstante, se tiene el dato del número de defunciones para el año 2017 en este municipio, que fuer de 84, de los cuales 56 fueron hombres y 28 mujeres (INEGI 2018).

### d. Migración

No se cuentan con datos específicos para el municipio de Puerto Morelos. No obstante, se cuentan para el estado de Quintana Roo.

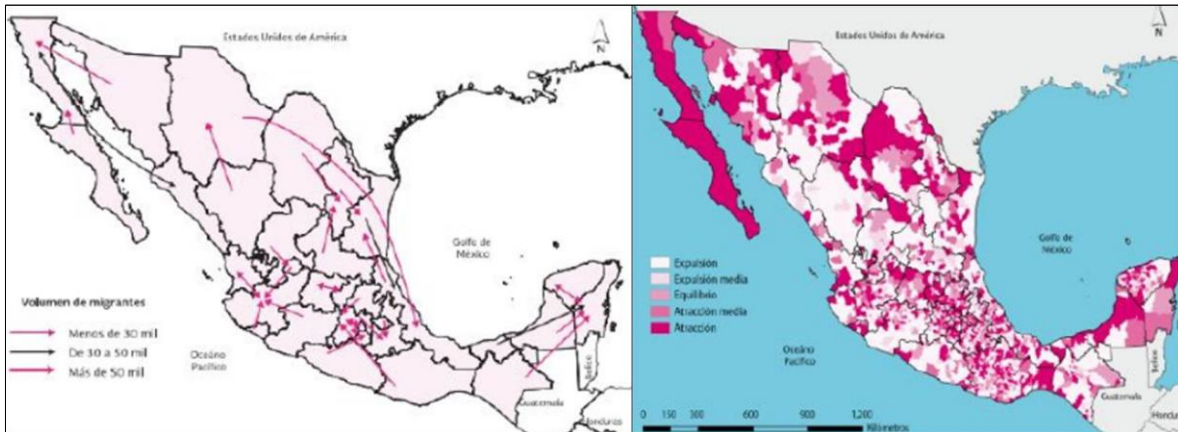
**Emigración.** La población emigrante de la entidad es muy poca, ya que las condiciones económicas del estado garantizan el derecho de residencia y, por la

misma razón se registra una alta llegada de inmigrantes que buscan mejores oportunidades de empleo y condiciones de vida, que a su vez transforman el entorno cultural, natural y económico de la entidad (GEQR 2017).

Del total de migrantes mexicanos en Estados Unidos sólo 0.1% (*i.e.*, 59 migrantes) corresponde a migrantes de Quintana Roo, lo que la convierte en la cuarta entidad con el menor flujo de migrantes durante el periodo de 2009 a 2014 (INEGI 2010, GEQR 2017). Othón P. Blanco, Benito Juárez, José María Morelos, Felipe Carrillo Puerto y Cozumel son los principales municipios exportadores de migrantes a los Estados Unidos, lo cual explica en gran medida la brecha existente en relación al desarrollo económico entre la zona sur y la zona norte de la entidad (GEQR 2017).

**Emigración interna.** Se tiene dato de que, en 2005, **salieron de Quintana Roo 51,915 personas para radicar en otra entidad**. De cada 100 personas, 33 se fueron a vivir a Yucatán, 11 a Veracruz de Ignacio de la Llave, 8 a Campeche, 8 a Tabasco y 6 a Chiapas (INEGI 2010).

**Inmigración interna.** Se registraron tasas superiores a 100 inmigrantes por cada mil habitantes, entre 2005 a 2010, lo que coloca a Quintana Roo como una entidad con tasas netas de migración interestatal positiva, resultado de la fuerte atracción que ejerce (GEQR 2017). De acuerdo con INEGI (2010), en 2010 **llegaron en total 143,899 personas a vivir a Quintana Roo**, procedente del resto de las entidades del país. De cada 100 personas, 16 provienen de Yucatán, 15 de Chiapas, 14 de Tabasco, 13 de la Ciudad de México y 12 de Veracruz de Ignacio de la Llave.



**Figura 226.** Izquierda: Principales corrientes migratorias interestatales, 2005-2006. Derecha: Categoría migratoria de los municipios 2005-2010. Fuente: INEGI (2010).

#### **e. Población económicamente activa**

En el municipio de Puerto Morelos la población económicamente activa en el año 2010 era de 6,472 personas, de los cuales 4,515 eran hombres y 1,957 eran mujeres. Mientras que la población económicamente inactiva para el mismo año, era de 4,759, de los cuales 3489 eran mujeres y 1,270 eran hombres (INEGI 2010).

El sector turismo es el mayor generador de riqueza a través de los servicios que ofrece (HAPM 2017). Este municipio cuenta con: el Jardín Botánico Alfredo Barrera Marín, una ruta de cenotes denominada Leona Vicario-Central Vallarte-Puerto Morelos, así como un zoológico de cocodrilos y forma parte del segundo arrecife más extenso del mundo; asimismo, cuenta con mercados artesanales (Hunab-Ku), parques recreativos, servicios de transporte y de hospedaje. Con respecto a los servicios de hospedaje, Puerto Morelos en 1980 contaba con 60 habitaciones; para el año 2000, ya se contaba con 2000 habitaciones incluyendo hoteles, posadas, condominios y villas (DIGAOHM S/F). Para el año 2017, se tenía el registro de 5, 274 habitaciones distribuidas en 51 hoteles de todas las categorías, siendo esta la actividad la que genera mayor derrama económica en el municipio (HAPM 2017). De tal forma que el municipio ofrece diversos atractivos que atrae a miles de turistas todo el año. La mayor parte de la Población Económicamente Activa se desenvuelve en el sector terciario, principalmente en las actividades de servicios y comercio, ya que, por su atractivo natural, la zona recibe una gran afluencia de turistas.

La mayoría de los hoteles de 4 y 5 estrellas se localizan 7 en la zona hotelera norte y 2 en la zona hotelera sur, con algunos nuevos en construcción en el área de Punta Brava. Dejando a la comunidad de Puerto Morelos como zona residencial y típica, fórmula que es apreciada por el turismo que huye de grandes aglomeraciones y por muchos extranjeros retirados de todas partes del mundo que también disfrutan de la tranquilidad y belleza que aún se vive entre dos titanes del turismo (DIGAOHM S/F).

#### **f. Vivienda**

De acuerdo con SEDESOL (2013), la localidad con el mayor número de viviendas particulares habitadas es Puerto Morelos, con 4,270 viviendas particulares para el año 2010. Mientras que para el año 2005 en todo el municipio, se tenían registradas 7,034 viviendas particulares.

**Tabla 73.** Número de viviendas particulares habitadas en el municipio de Puerto Morelos en los años 2005 y 2010. Fuente: SEDESOL (2013).

<b>Año</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>Total</b>
<b>Leona Vicario</b>	1200	1555	2755
<b>Puerto Morelos</b>	1634	2636	4270
<b>Central Vallarta</b>	5	4	9
<b>Total</b>	2839	4195	7034

#### **IV.2.5.2 Factores socioculturales**

##### **a. Educación**

De acuerdo con HAPM (2017), el municipio de Puerto Morelos cuenta con 25 escuelas del nivel básico (preescolar, primaria y secundaria), de las cuales 19 son públicas y 6 privadas; 2 planteles públicos de nivel medio superior. **Se carece de instituciones de nivel superior.** La matrícula de las escuelas públicas del nivel básico en el ciclo escolar 2016-2017 fue de 4 mil 244 alumnos y 127 maestros. La matrícula de las escuelas privadas de nivel básico en el mismo periodo fue de 237 alumnos y 26 maestros. De la información anterior se desprende que en educación básica el 94.7% del alumnado se concentra en las escuelas públicas; característica que se

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

mantendrá durante los siguientes años. En el último ciclo escolar egresaron de las escuelas de nivel medio superior 222 alumnos, mismos que tienen que emigrar buscando estudiar una carrera profesional en otras ciudades.

Otro aspecto fundamental es que una importante proporción de alumnos pertenece a familias que viven en la pobreza, situación que incide en el bajo rendimiento académico y en la deserción escolar, al abandonar sus estudios para ayudar a sus padres con el ingreso familiar. En el municipio existen escuelas del nivel básico que se encuentran inconclusas, o que requieren más aulas, áreas verdes, espacios deportivos, cercos perimetrales, talleres y laboratorios. En algunos casos hace falta docentes y personal de apoyo o bien no cuentan con el equipamiento adecuado (HAPM 2017).

Es prioritario dedicar tiempo y esfuerzo para la disminución del analfabetismo y para la impartición de educación a los adultos, principalmente en el medio rural, para lograr que estas personas, al prepararse, cuenten con las mismas oportunidades que los demás ciudadanos (HAPM 2017).

### **b. Uso que se le da a los recursos naturales del área de influencia del proyecto**

El área que está entre el límite de los polígonos de pretendida ubicación del proyecto (*i.e.*, instalación de los cuatro arrecifes artificiales o estructuras de protección costera, así como la regeneración del ancho de playa seca frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales y el límite del Sistema Ambiental Regional está ocupada por el área marina entre el Muelle Fiscal y Punta Brava, en la cual se ha observado que se realizan actividades turísticas, tales como: esparcimiento en la playa (práctica de natación, buceo, snorkel, kayak, surf a vela), uso del canal de navegación, uso del Muelle Fiscal que cuenta con terminal de carga general y de contenedores, así como terminal de transbordadores, con posiciones de atraque.

### **IV.2.6 Diagnóstico ambiental**

Con base en todo lo antes expuesto (*i.e.*, descripción de las características bióticas, abióticas y socioeconómicas), a continuación, se integra una síntesis del estado actual del Sistema Ambiental Regional del proyecto. Se indicará el grado de



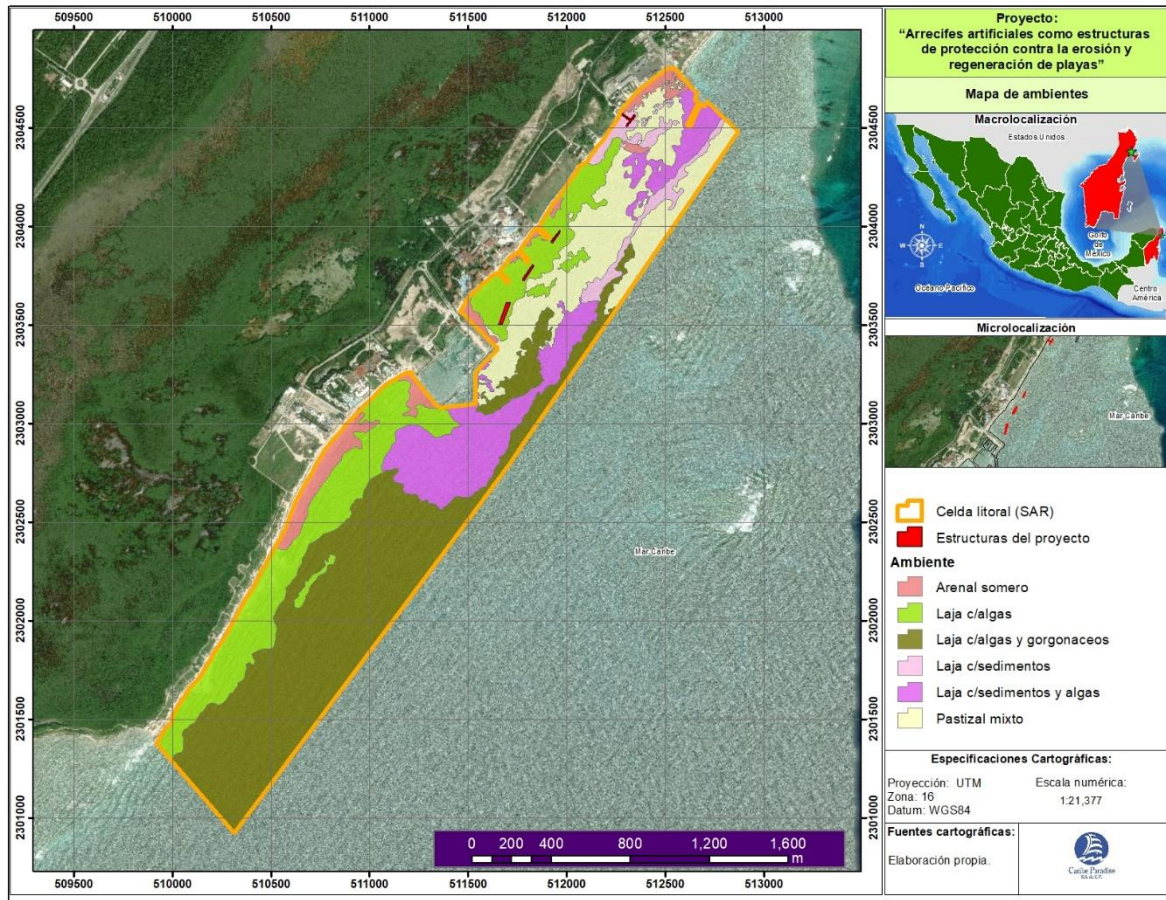
conservación o deterioro (calidad del ambiente) de acuerdo con la descripción y análisis efectuada en los apartados previos.

### IV.2.6.1 Integración e interpretación del inventario ambiental

Como se mencionó al inicio de este capítulo, el Sistema Ambiental Regional (SAR) del proyecto se delimitó bajo el criterio de celda litoral (*i.e.*, unidad básica en la que se divide el litoral; Anfuso 2004, Guido *et al.* 2009). Dicho SAR tiene una superficie de 267.37 hectáreas, abarcando una distancia lineal de 4.5 km de frente de playa y delimitado a una distancia entre 500 y 850 m de la línea de costa, a una profundidad aproximada de 10 metros. A continuación, se presenta la integración e interpretación del inventario ambiental.

En el **Sistema Ambiental Regional se reconocieron siete tipos de ambientes**, de acuerdo con sus características de tipo de sustrato, profundidad, topografía del lugar, así como de la biota marina dominante. Dichos ambientes son: 1) laja con algas (57.26 ha: 21.42%), 2) rocas con algas (1.66 ha: 0.62%), 3) arenal somero (13.23 ha: 4.95%), 4) laja con sedimentos y algas (37.93 ha: 14.19%), 5) laja con algas y gorgonáceos (107.63 ha: 40.25%), 6) laja con sedimentos (6.99 ha: 2.61%) y 7) pastizal mixto (42.67 ha: 15.96%).

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 227.** Tipos de ambientes identificados en el Sistema Ambiental Regional y proyecto.

Los principales grupos taxonómicos muestreados fueron: 1) **Escleractinios** (corales duros), 2) **Gorgonáceos** (corales blandos), 3) **Vegetación marina** (macroalgas y pastos marinos), **Ictiofauna** (peces arrecifales), y, 5) **Invertebrados**. Del total de especies registradas en el **Sistema Ambiental Regional (SAR)** (época de lluvias: 156 especies; época de secas: 166 especies), sólo siete de ellas están en alguna categoría de riesgo dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo III (DOF. 14 /11/2019), las cuales son: los corales blandos abanico de mar (*Plexaura homomalla*) y coral blando (*Plexaurella dichotoma*); los pastos marinos *Syringodium filiforme* y *Thalasia testudinum* y los peces *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae*.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

A pesar de la riqueza de especies registrada en el **Sistema Ambiental regional (SAR)** del proyecto, se considera que el **sistema arrecifal** presente en el SAR, **tiene un bajo desarrollo estructural**, pues carece de una zonación típica de los arrecifes coralinos (i.e., piso lagunar, arrecife posterior, cresta arrecifal, arrecife frontal, macizo rocoso; Cerdeira-Estrada *et al.* 2018). La ausencia de una cresta arrecifal, laguna arrecifal y arrecife frontal, así como la baja presencia de corales escleractinios (como principal elemento biótico por su papel como constructor arrecifal), genera una baja complejidad ambiental, o bien, homogeneidad ambiental, que resulta en baja diversidad y escasa biota asociada. Asimismo, aunque en el SAR se registraron especies consideradas pioneras o ruderales en los procesos de sucesión ecológica (e.g., *Siderastrea radians*, *Siderastrea siderea*), debido a los tamaños de las colonias, estas especies tienen un reducido aporte a la acreción arrecifal y un papel ecológico poco relevante en los procesos biogénicos de la construcción arrecifal.

Como se puede observar en la tabla siguiente, los **bancos de arena** (sólo en la zona de acumulación A o Banco A, así como en los Bancos B y C, ya que en la zona de acumulación G o Banco D no se registró biota marina) presentaron 48.72% de la biota marina que se registró en el SAR en época de lluvias; mientras que en las **áreas propuestas para la instalación de arrecifes artificiales** se registró entre 58.33 y 45.18% de la biota marina registrada en el SAR. Se observó que los **bancos de arena** proporcionan poco refugio y escasas zonas de alimentación para los organismos arrecifales, siendo estos sitios los que menor riqueza específica presentaron. Mientras que el **área destinada para la instalación de arrecifes artificiales** presenta una comunidad biótica pobre. No obstante, se recomienda implementar un programa de rescate y reubicación de biota marina previo al inicio de las obras.

**Tabla 74.** Riqueza de especies (S) de los diferentes grupos taxonómicos muestreados durante dos épocas del año (lluvia y secas) en: Sistema Ambiental Regional (SAR), Bancos de arena, Área propuesta para la instalación de arrecifes artificiales.

Riqueza (S)	SAR		Bancos	Arrecifes artificiales	
	Lluvias	Secas		Lluvias	Lluvias
Escleractinios	14	11	7	6	7
Gorgonáceos	17	15	7	13	17
Ictiofauna	41	44	16	19	10

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Riqueza (S)	SAR		Bancos	Arrecifes artificiales	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Lluvias	Secas
Grupo biológico					
Vegetación marina	56	62	33	36	29
Invertebrados	28	34	13	17	12
Total	156	166	76	91	75
Porcentaje (%)	100	100	48.72	58.33	45.18

Es importante mencionar, que los pastos marinos son plantas que se encuentran en estuarios someros (Lara-Dominguez 2006). Se distribuyen en manchones extensos y densos, por lo que también son conocidos como praderas de pastos marinos (Lara-Dominguez 2006, Riosmena y López S/F). Dichas praderas pueden estar formados por una sola especie, o por varias especies de pastos. Entre los servicios ambientales que ofrecen los pastos marinos se encuentran: 1) Aumento del sustrato disponible para la fijación de organismos de diferentes tipos; 2) Reducción del movimiento del agua creado por las corrientes y las olas, permitiendo condiciones de calma en el interior de las praderas; 3) Protección a la costa de la acción de las olas y ayuda a evitar la erosión costera; 4) Reducción del exceso de iluminación (por las hojas) durante el día, protegiendo el fondo de la insolación y permitiendo el desarrollo de un microambiente en la base de los pastos; 5) Creación de una elevada concentración de oxígeno disuelto, producto de la fotosíntesis de los pastos, que tiene como consecuencia densidades elevadas de organismos; 6) Representan sitio de crianza, refugio y alimentación de muchas especies juveniles de peces, e invertebrados; 7) Exportación de nutrientes a sitios aledaños (Riosmena y López S/F).

Los **pastos marinos** registrados en el presente estudio, en particular en el área o áreas próximas de pretendida ubicación de los arrecifes artificiales, **no se distribuyen en manchones extensos ni densos**, por lo que no forman praderas; **además, se encuentran perturbados**. El bajo desarrollo de los pastos marinos y su perturbación podría deberse a la: 1) **excesiva cantidad de nutrientes** y 2) **sobrepoblación de sargazo**. Para el primer caso, en el área propuesta para la instalación de los arrecifes artificiales, se detectó la presencia de un ojo de agua, por lo que es posible que esta sea una de las fuentes de exceso de nutrientes en el área, que de acuerdo con Riosmena y López (S/F), el exceso de nutrientes provoca un crecimiento anormal y muy acelerado de las algas resultando en el ahogamiento de los pastos. Para el segundo caso, la sobrepoblación de sargazo genera sedimentos en suspensión, que, a su vez, incrementa la turbidez en el agua



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

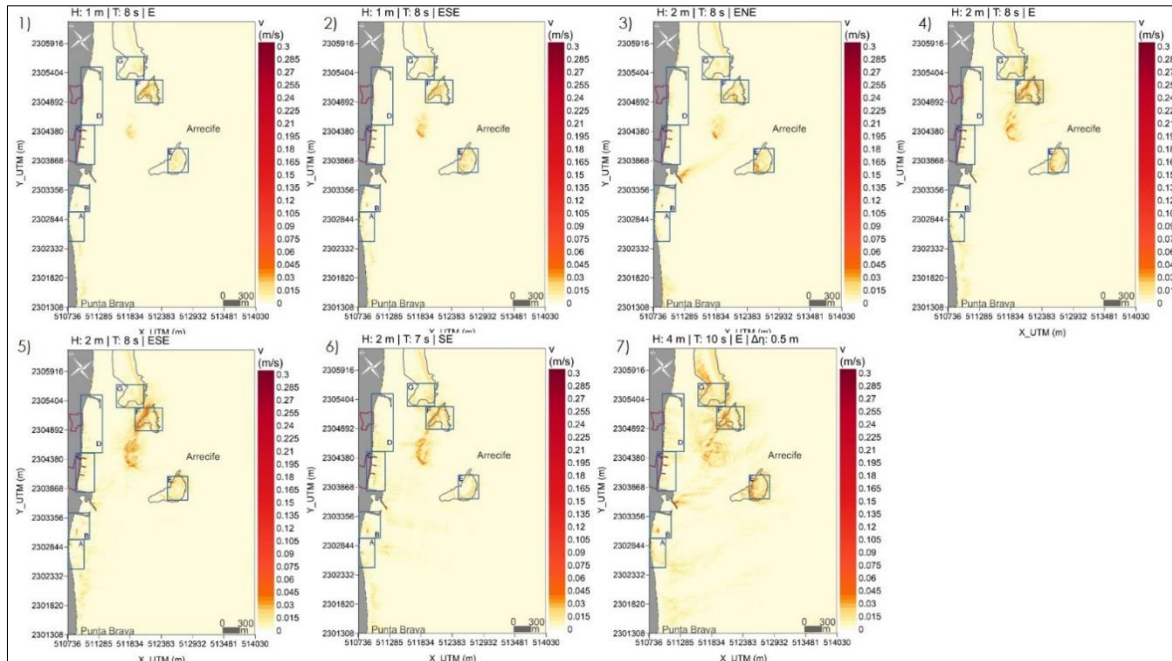
disminuyendo el desarrollo de los pastos. En síntesis, los pastos marinos registrados en el presente estudio ya se encuentran perturbados y ocupan áreas reducidas formando pequeños parches, por lo que no se verán afectados por la realización de las obras. De tal forma que los servicios ambientales que pudieran ofrecer los pastos marinos también se encuentran actualmente afectados.

Después del análisis de la condición que guardan los diferentes grupos taxonómicos, **en términos generales, se diagnosticó que el arrecife del SAR, tiene una biota marina poco diversa**, con un grado de deterioro similar al que afecta todo el Sistema Arrecifal Mesoamericano en donde más del 50% de los arrecifes se encuentran **en condición pobre o crítica** (Healthy Reefs 2015).

Con respecto a reptiles marinos para las costas del estado de Quintana Roo, en un periodo de 1961 a 2019 (Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad; GBIF, por sus siglas en inglés) se ha reportado la presencia de cuatro especies de tortugas marinas: **tortuga verde** (*Chelonia mydas*), **caguama** (*Caretta caretta*), **carey** (*Eretmochelys imbricata*) **y laúd** (*Dermochelys coriacea*), todas ellas en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. Específicamente para la playa colindante al Sistema Ambiental Regional desde Punta Brava hasta Muelle Fiscal, a través de monitoreos se registraron tres especies de tortugas marina las cuales son: tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga caguama (*Caretta caretta*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), por lo que habrían de ser consideradas medidas de manejo en caso de ser avistadas en el SAR en su paso hacia la costa.

En relación con las características abióticas del Sistema Ambiental Regional (SAR), se realizó una evaluación de 1) **altura del oleaje**, 2) **velocidad de corrientes en la costa**. Estas evaluaciones se hicieron bajo diferentes escenarios de modelación: 1) Calma o no tormenta con oleaje del este (E); 2) Calma o no tormenta con oleaje del este sureste (ESE); 3) Tormentas con oleaje del este noreste (ENE; Norte); 4) Tormentas con oleaje del este (E); 5) Tormentas con oleaje del este sureste (ESE; surada); 6) Tormentas con oleaje del sureste (SE; surada); 7) Huracán con oleaje del este (E); dichos escenarios representan escenarios de modelación con estadísticamente mayor ocurrencia en el periodo de estudio (ver detalle del desarrollo de los análisis en Anexo II.1.1 y Anexo II.1.2).

Referente a la **velocidad de las corrientes en la costa**, en los diferentes escenarios se tienen valores entre 0.045 y 0.075 m/s. Las velocidades más altas se observaron en los escenarios de tormentas con oleaje del este noreste (norte) y con oleaje del este (figura siguiente) (para más detalle ver Anexo II.1.2).



**Figura 228.** Velocidad de corrientes para los escenarios de 1) Calma o no tormenta con oleaje del este (E) (0.045 m/s); 2) Calma o no tormenta con oleaje del este sureste (ESE) (0.06 m/s); 3) Tormentas con oleaje del este noreste (ENE; Norte) (0.075 m/s); 4) Tormentas con oleaje del este (E) (0.075 m/s); 5) Tormentas con oleaje del este sureste (ESE; surada) (0.045 m/s); 6) Tormentas con oleaje del sureste (SE; surada) (0.06 m/s); 7) Huracán con oleaje del este (E) (0.06 m/s).

Con respecto a la **altura del oleaje**, esta puede variar de dependiendo del escenario modelado: olas de 1 m de altura para escenario de calma con oleaje proveniente del este y sureste; olas de 2 m de altura para escenarios de tormenta con oleaje proveniente del este-noreste (nortes), este (tormenta del este), este-sureste (surada) y sureste (surada); olas de 4 m de altura para escenario de huracán con oleaje proveniente del este y una sobre elevación del nivel del mar de 0.5 m. A través de estos modelos, se puede observar que los espigones concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa provocando mayor transporte en



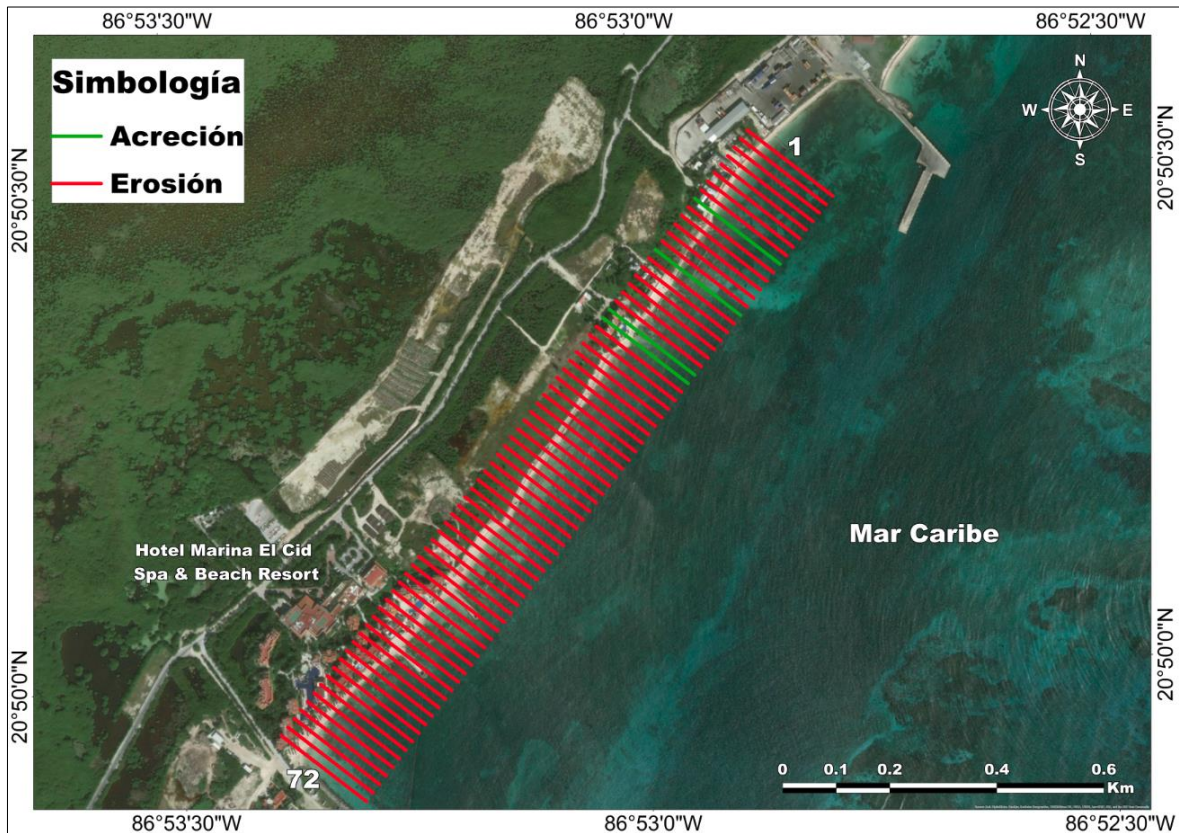
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

sentido transversal y facilitando la pérdida de volumen de sedimento en la playa seca. En los modelos con condiciones de Huracán también se observa que el Muelle Fiscal, el Muelle de Cubos y La Marina también concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa.

**Tabla 75.** Síntesis de los parámetros del oleaje que definen los escenarios de simulación (Anexo II.1).

Escenario de simulación	Altura de ola H (m)	Periodo de oleaje T (s)	Dirección de procedencia del oleaje	Sobreelevación del nivel del mar (m)
Calma o no tormenta	1	8	E	0
			ESE	0
Tormentas	2	8	ENE (Norte)	0
			E (Tormenta del Este)	0
		7	ESE (Surada)	0
Huracán	4	10	SE (Surada)	0
			E	0.5

Por otra parte, con el fin de **reconocer modificaciones en la dinámica de la línea de costa**, se realizó un análisis de **evolución de la línea de costa** a partir de 12 imágenes satelitales obtenidas de Google Earth (2004 a 2017), en las cuales fueron estimadas las tasas de cambio en 72 transectos perpendiculares a la costa, situados entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos, con una separación entre transectos de 20 m. La comparación entre las líneas de costa correspondientes a las fechas inicial y final del periodo de análisis (29 de septiembre de 2004 y 9 de enero de 2017), muestra **un retroceso en prácticamente toda el área, salvo en cuatro de los transectos situados en la zona norte de la región.**



**Figura 229.** Cambio de la línea de costa en el periodo 2004–2017 (métodos EPR y NSM): en verde, acreción; en rojo, erosión.

El análisis de evolución de la línea de costa demostró que **la playa entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos se encuentra en proceso de erosión**, detonado por la infraestructura portuaria construida por el gobierno estatal antes de 1988 y la construcción de los espigones en fechas recientes. Por lo tanto, **se justifica la necesidad de actuar para proteger la zona costera objeto del proyecto**. De esta forma se proporcionará un espacio de playa seca más adecuada para el turismo.

Bajo este análisis de la situación actual de la estructura arrecifal y del ambiente biótico marino en el Sistema Ambiental Regional del presente proyecto, **se alerta sobre la necesidad de restablecer los procesos funcionales del arrecife**, con la intención de contar en el tiempo ecológico con la formación de hábitat y refugios que propician una mayor heterogeneidad ambiental y una mayor diversidad de

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

especies; así como con la acreción de la estructura calcárea del arrecife y su permanencia como ambiente de depósito en el tiempo geológico.

Por esta razón, y bajo los planteamientos expuestos, se recomienda ampliamente analizar la factibilidad de establecer un Programa de Restauración Activa e Integral (i.e., trasplante de colonias de coral para revertir los efectos del daño ambiental en sitios estratégicos), que, de manera sinérgica con la instalación de los arrecifes artificiales en las áreas propuestas, permita incrementar la heterogeneidad ambiental, a la vez de restablecer los procesos funcionales del arrecife. Todo ello permitirá una mejora en el paisaje del SAR, lo que a su vez atraerá a más visitantes y, en consecuencia, un beneficio económico a los habitantes de dicha región.

### **IV.3 Referencias**

- Alcolado, P., A. Corvea y A. González. 1980. Variaciones morfológicas internas y externas de los abanicos de mar (*Gorgonia* spp.) y su valor adaptativo. *Ciencias Biológicas* 5.
- Alcolado, P. M. 1981. Zonación de los gorgonáceos someros de Cuba y su posible uso como indicadores comparativos de tensión hidrodinámica sobre los organismos de los bentos. Informe Científico-técnico Instituto Oceanológico Academia de Ciencias de Cuba, 187: 1-43.
- Anfuso, G. 2004. Caracterización de celdas litorales en un tramo costero aparentemente homogéneo del litoral de Cádiz (so de España). *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 18: 25-36.
- Bayer, F. M. 1961. The shallow water octocorallia of the west Indian Region. Martinus Nijhoff. The Hague, 373 pp.
- Bayer, F. M., M. Grasshoff y J. Versevedt (Eds). 1983. Illustrated trilingual glossary of morphologycal and anatomical terms applied to octocorallia. E. J. Brill/Dr. W. Backhuys. Leiden. 75 pp.
- Botero, L. 1987. Zonación de octocorales en el área de Santa Marta y Parque Nacional Tayrona, Costa Caribe Colombiano. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín*, 17: 61-80.
- Botero, L. 1990. Observations on the size, predators and tumor-like outgrowths of gorgonian octocoral colonies in the area of Santa Marta, Caribbean coast of Colombia. *NORTHEAST GULF SCI.* Vol. 11, no. 1, pp. 1-10.
- Bouchon-Navarro, Y., C. Bouchon, M. Louis & P. Legendre. 2005. Biogeographic patterns of coastal fish assemblages in the West Indies. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 315: 31-47.
- Brown, J.H. 1995. *Macroecology*. The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Cairns, S. 1977. Guide to the commoner shallow-water gorgonians (Sea whips, sea feathers and sea fans) of Florida, The Gulf of Mexico and the Caribbean Region. Sea Grant Field Guide Series number 6. University of Miami. Sea Grant Program. 74 pp.
- Carrillo Bribiezca, L. E. 2008. Calidad de agua y dispersión de contaminantes en la zona costera de la Riviera Maya (Playa del Carmen, Quintana Roo). Informe técnico final proyecto CNA-2004-C02-3. Fondo Sectorial CNA-CONACyT. El Colegio de la Frontera Sur.

- Castañares, L., Soto, L. 1982. Estudios sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la península de Yucatán, México. I. Sinopsis taxonómica de 38 especies (Cnidaria: Anthozoa:Scleractinia). An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 9:295-344.
- Cerdeira-Estrada, S., L.O. Rosique-De La Cruz, P. Blanchon, A. Uribe-Martínez, R. Martell-Dubois, M.I. Martínez-Clorio, M.I. Cruz-López, R. Ressler. 2018. 'Relieve Submarino de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche - Xcalak. 2018', escala: 1:8000. edición: 1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Cerdeira-Estrada, S., M.I. Martínez-Clorio, L.O. Rosique-De La Cruz, M. Kolb, A.M. Gonzales-Posada, A. Uribe-Martínez, R. Martell-Dubois, J.R. Garza-Pérez, L. Alvarez-Filip, M.I. Cruz-López, R. Ressler, (28/06/2018). 2018. 'Cobertura Bentónica de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche - Xcalak. 2018', escala: 1:8000. edición: 2. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Chaplin, Ch. C. G. 1972. Fishwatchers guide to west-Atlantic coral reefs. Harrowood Books, Pennsylvania. 65 pp.
- Cofforth, M. A. 1985. Mucous sheet formation on poritid corals: effects of altered salinity and sedimentation. Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress. Vol. 4:165-170.
- Colin, P. I. 1988. Marine invertebrates and plants of the living reef. T.F.H. Publications, Inc. Ltd. 512 pp.
- Comisión Colombiana del Océano (CCO). 2016. El océano en las Ciencias Naturales y Sociales. Tercera edición. Editorial Entrelibros e-book solutions. Bogotá, 2016. 326 pp.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). S/F. Manifestación de Impacto Regulatorio. Anexo 1.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. Estadísticas del agua en México, Conagua, México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Biodiversidad Mexicana: Ecorregiones marina. Disponible en: <<https://www.biodiversidad.gob.mx/region/pdf/ecorregiones1.pdf>>.
- Connell J. 1978. Diversity in tropical rainforest and coral reefs. Science 199:1302-1310.



- Crowell, M. y S. Leatherman. 1999. Coastal erosion mapping and management. *Journal of Coastal Research*, 28.
- Dean, R.G., 1974. Compatibility of borrow material for beach fills. *Proceedings of the 14th International Conference on Coastal Engineering*, 2: 1319-1330.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2019. MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicaco el 30 de diciembre de 2010.
- Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología (DIGAOHM). S/F. Puerto Morelos, Quintana Roo. Disponible en: <<https://digaohm.semarnat.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioPtomorelos.pdf>>.
- Etter, A., 1990. *Ecología del Paisaje: un marco de integración para los levantamientos rurales*. IGAC, Bogotá.
- Ferrer, L. M. 1985. Spatial patterns of three Caribbean scleractinians: *Porites astreoides*, *Montastrea annularis*, and *Montastrea cavernosa*. Department of Marine Sciences, University of Puerto Rico. Mayaguez. Puerto Rico. Thesis.
- García, E. 1998. *Climas, escala 1: 1 000 000*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Disponible en: <<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>>.
- Gardner, T. A., Cote, I. M., Gill, J. A., Grant, A., & Watkinson, A. R. (2005). Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. *Ecology*, 86(1), 174-184.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo (GEQR). 2017. *Plan Estatal de Desarrollo Quintana Roo 2016-2022 (PEDQR)*. Eje 4. Desarrollo Social y combate a la desigualdad. Atención a grupos en situación de vulnerabilidad. Migrantes. Disponible en: <<https://www.qroo.gob.mx/atencion-grupos-en-situacion-de-vulnerabilidad/migrantes>>.
- Gondwe, B. R. N. 2010. *Exploration, Modelling and Management of Ground-Calidad de agua en el acuífero de Puerto Morelos, Quintana Roo, México water-Dependent Ecosystems in Karst-The Sian Ka'an Case Study, Yucatan, Mexico (Tesis de doctorado)*. Technical University of Denmark, Department of Environmental Engineering.
- González, R., I. Sánchez, A. Cervantes y J. Osorio. 2018. Calidad de agua en el acuífero de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Teoría y Praxis*, 25: 69-89.



- Greenberg, J. e I. Greenberg. 1977. Guide to corals and fishes of Florida. The Bahamas and The Caribbean. Seahawk Press. Miami. Florida, 64 pp.
- Grime, J. P. y Pierce, S. 2012. The evolutionary strategies that shape ecosystems. Wiley-Blackwell. 240 p. [www.wiley.com/go/grime/evolutionarystrategies](http://www.wiley.com/go/grime/evolutionarystrategies).
- Grossman GD, Jones GP, Seaman WJ Jr. 1997. Do artificial reefs increase regional fish production? A review of existng data. *Fish Manag* 22:17–23
- Guido, P., A. Ramírez, L. Godínez, S. Cruz y A. Juárez. 2009. Estudio de la erosión costera en Cancún y la rívera Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 20: 41-56.
- Gutiérrez, D., García, C., Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., y R. Macías. 1993. Caracterización de los arrecifes coralinos de la reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Q. Roo. México. *Sian ka'an Serie Documentos No. 1*: 1-47.
- Gutiérrez, D., Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., García, G., Loreto, R., Camarena, T. 1995. Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor “Cancún-Tulum”, Quintana Roo, México. *Sian ka'an Serie Documentos No. 4*. 3-39.
- Healthy Reefs. 2015. Report Card. Mesoamerican Reef. An evaluation of Ecosystem health. (<http://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2015/05/MAR-EN-small.pdf>).
- Hixon, M. A., and J. P. Beets. 1989. Shelter characteristics and Caribbean fish assemblages: experiments with artificial reefs. *Bull. Mar. Sci.* 44:666-680.
- Honorable Ayuntamiento de Puerto Morelos (HAPM). 2017. Programas municipales 2016-2018. Puerto Morelos, Quintana Roo. 68 pp.
- Hubbard D. K. and D. Scaturo. 1985. Growth rates of seven species of scleractinian corals from Cane Bay and Salt River, St. Croix, U.S. V.I. *Bull mar Sci* 36:325-338.
- Hughes, R. N. 1989. A functional biology of clonal animals. Chapman and Hall, New York. 331 pp.
- Hughes, T. P. 1984. Population dynamics based on individual size rather than age: a general model whit a reef coral example. *American Naturalist*, 123:728-795.
- Humman, P. 1989. Reef fish identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 267 pp.
- Humman, P. 1993a. Reef coral identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla 239 pp.
- Humman, P. 1993b. Reef creature identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 320 pp.
- Instituto Nacional de Ecología. 2000. Programa de manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.

- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Diccionario de datos climáticos escalas 1: 250 000 y 1: 1 000 000 (vectorial). 57 p. Disponible en: <[http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/doc/dd\\_climaticos\\_1m\\_250k.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/doc/dd_climaticos_1m_250k.pdf)>.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2002. Estudio Hidrológico de Quinta Roo. Gobierno del Estado de Quintana Roo. 49 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. 'Áreas Geoestadísticas Municipales, junio 2018.', escala: 1:250000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. Banco de indicadores. Disponible en: <<http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/?ind=1002000026&vind=metadato##divFV1002000027#D1002000026>>.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INFDM). 2018. Puerto Morelos es el municipio de más reciente creación en el estado de Quintana Roo. Disponible en: <<https://www.gob.mx/inafed/articulos/puerto-morelos-es-el-municipio-de-mas-reciente-creacion-del-estado-de-quintana-roo?idiom=es>>.
- Iturralde-Vinent, M. 2003. Chapter 22: A brief account of the evolution of the Caribbean seaway: Jurassic to Present. In: Prothero, D., L. Ivany, E, Nesbitt, eds. From Greenhouse to Icehouse: The Marine Eocene-Oligocene Transition. p. 386-396. New York: Columbus University Press. Disponible en: <<http://www.redciencia.cu/cdorigen/arca/paper/cbseaw.pdf>>.
- Jones, G. y McCormick. 2002. Numerical and energetic processes in the ecology of coral reef fishes. Pages 221-242 in P. Sale, editor. Coral Reef Fishes. Academic Press.
- Jordán-Dahlgren, E. y Rodríguez-Martínez, R. E. 1998. Post-hurricane initial recovery of *Acropora palmata* in two reefs of the Yucatan Peninsula, Mexico. *B Mar Sci.*, 63: 213-228.
- Kermani, S., Boutiba, M., Guendouz, M., Guettouche, M. S., y Khelfani, D. 2016. Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jjelian sandy coast (East Algeria). *Ocean and Coastal Management*, 132, 46-58. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.08.010>
- Knowlton, N. 2001. Sea urchin recovery from mass mortality: New hope for Caribbean coral reefs? *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98.9: 4822-4824.

- Kramer P, McField M, Álvarez-Filip L, Drysdale I, Rueda-Flores M, Giro A y Pott R. 2015. Reporte de la Salud Ecológica del Arrecife Mesoamericano 2015. Iniciativa Arrecifes Saludables (www.arrecifessaludables.org).
- Lara-Domínguez, A.L. 2006. Pastos marinos, 1: 229-240. En: P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa, A.C. Travieso Bello (Eds.) Manejo Integral de la Zona Costera: Un Enfoque Municipal. Consejo Estatal de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Veracruz, Instituto de Ecología, A.C. ISBN 970-709-039-1.
- Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., Urquiza, R., Nava, T. 1994a. Caracterización de 4 áreas arrecifales de la costa de Quintana Roo. Desarrollo arrecifal y Estructura de la comunidad. Reporte final.
- Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., Urquiza, R., Nava, T. 1994b. Caracterización de la circulación marina, transporte litoral y procesos costeros en 4 áreas arrecifales de la costa de Quintana Roo. Reporte final.
- Lessios, H.A., Kessing, B.D. y Pearse, J.S. 2001. Population structure and speciation in tropical seas: global phylogeography of the sea urchin *Diadema*. *Evolution* 55: 955–975.
- Lirman, D. (2003). A simulation model of the population dynamics of the branching coral *Acropora palmata* Effects of storm intensity and frequency. *Ecological modelling*, 161(3), 169-182.
- Littler, D. M., Littler, K., Buchery J. Norris. 1989. *Marine Plants of the Caribbean. A field guide from Florida to Brazil*. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C. 263 pp.
- Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Biol.* 13:100-23
- Lugo-Hubp, José., Córdova, Carlos-Fernández, Arteaga. 1990. 'Geomorfología Marina'. Obtenido de Geomorfología 1. IV.3.3., Atlas Nacional de México, Vol. II, Escala 1:4000000, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford, RU. 256 pp.
- Masmar. 2013. *Corrientes del Atlántico Norte*. Disponible en: <<http://www.masmar.net/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Oceanograf%C3%ADa/Corrientes-del-Atl%C3%A1ntico-Norte>>.
- McGehee, M. A. 1994. Correspondence between assemblages of coral reef fishes and gradients of water motion, depth, and substrate size off Puerto Rico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 105: 243-255.

- Merino, M. y L. Otero. 1983. Atlas Ambiental Costero. Puerto Morelos - Quintana Roo. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 80 p.
- Morales, J. J. 2004. El joven mar caribe. Ciencias, 76: 34-41.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa. Serie Manuales y Tesis SEA. 84 p.
- Morláns, M. C. 2005. Introducción a la ecología del paisaje. Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca.
- Ozturk, D. y F. A. Sesli. 2015. Shoreline change analysis of the Kizilirmak Lagoon Series. Ocean y Coastal Management, 118, 290–308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.009>
- Padilla, C., Gutiérrez, D., Lara, M. y C. García. 1994. Coral Reefs of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. Proc. 7th. Int. Coral Reef. Symp. Guam, 2:986-992.
- Padilla, R. 2007. Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59: 19-42. Disponible en: <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/component/content/article/313-sitio/articulos/cuarta-epoca/5901/1534-5901-3-padilla>.
- Padilla-Souza, A. C. 2016. Programa interdisciplinario de restauración activa par acompensar daños antropogénicos en arrecifes coralinos del caribe mexicano. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de la Pesca. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JA009. Ciudad de México.
- Peters E. C. And M. E. Q Pilson. 1985. A comparative study of the effects of sedimentation on symbiotic and asymbiotic colonies of the coral *Astrangia danae* Milne Edwards & Haime, 1849. J exp mar Bioi Ecol 92:215-230.
- Porter, J. W. 1972. Patterns of species diversity in Caribbean reef corals. Ecology. 53:745-748.
- Real Academia Española (RAE). 2019. Significado de paisaje. Disponible en: <https://dle.rae.es/?id=RT6QMkS>.
- Reyes, M. A. 2005. El sistema circulatorio del planeta azul. Avance y perspectiva, 24: 71-75.

- Riosmena, R. y J. López. S/F. Praderas de pastos marinos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <<https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/praderasPastos.html>>.
- Román-Sierra, J., M. Navarro-Pons, G. Gómez-Pina y J.J. Muñoz-Pérez. 2013. Optimización del análisis del tamaño de grano de arenas costeras.
- Rosengaus, M., M. Jiménez y M. Vázquez. 2014. Atlas climatológico de ciclones tropicales en México. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 106 p. Disponible en: <<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>>.
- Sarukhán, J., et al. 2009. Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2013. Catálogo de Localidades: Central Vallarta. Disponible en: <<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=230050005>>.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2013. Catálogo de Localidades: Leona Vicario. Disponible en: <<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=230050003>>.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2013. Catálogo de Localidades: Puerto Morelos. Disponible en: <<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=230050024>>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). S/F. Guía para la elaboración de la manifestación del impacto ambiental modalidad regional. México, D.F.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2004. Huracán "Iván" del Océano Atlántico. Disponible en: <<http://smn1.conagua.gob.mx/ciclones/tempo2004/atlantico/ivan/ivan.html>>.
- Shulman and J. C. Ogden. 1987. What controls tropical reef fish populations: recruitment or benthic mortality? An example in the Caribbean reef fish *Haemulon flavolineatum*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 39: 233-242
- Silva, R., Baquerizo, A., Losada, M.A., Mendoza, E. 2010. Hydrodynamics of a headland-bay beach-nearshore current circulation. Coast. Eng., 57: 160-175.

- Silva, R., Borthwick, A.G., Taylor, R.E., 2005. Numerical implementation of the harmonic modified mild-slope equation. *Coast. Eng.*, 52: 391-407.
- Silva, R., Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P., Mendoza, E., López-Portillo, J., Lithgow, D., Vázquez, G., Martínez-Martínez, R.E., Monroy-Ibarra, R., Cáceres-Puig, J.I., Ramírez-Hernández, A., BoyTamborell, M. 2017. Aspectos generales de la zona costera. UNAM; INECOL. 54 pp.
- Smith, F. G. W. 1972. Atlantic reef corals. A handbook of common reef and shallow-water corals of Bermuda, The Bahamas, Florida, The West Indies and Brazil. University of Miami Press. 14 pp.
- Stokes, F. J. 1984. Divers and snorkelers guide to the fishes and sea life of the Caribbean, Florida, Bahamas and Bermuda. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia Publisher. 160 p.
- Suárez, E. y E. Rivera. 1998. Zooplankton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo, México. *Sistema Estatal de Información y Documentación Científica y Tecnológica*, 8: 19-32.
- Tomascik T and F. Sander. 1987. Effects of eutrophication on reef-building corals. III. Reproduction of the reef building coral *Poritesporites*. *Mar Biol* 94:77-94.
- Torres, J. and Morelock, J. 2002. Effect of Terrigenous Sediment Influx on Coral Cover and Rates of Three Caribbean Massive Coral Species. *J. Caribbean Sci.*, 1(38), 222-229.
- Universidad de Sonora (INISON). 2005. Sedimentación Carbonatada Reciente. Departamento de Geología. Universidad de Sonora. Disponible en: <<http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/olivia/carbonatadas/sedimentacioncarbonatadareciente.htm>>.
- Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). 2018. Contexto climático: Climatología del Caribe. Disponible en: <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5800/02.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>.
- Zavala, J., O. Salmerón, V. Aguilar, S. Cerdeira y M. Kolb. 2005. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <[http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos\\_oceanogr%C3%A1ficos](http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos)>.
- Zea, S. 1987. Esponjas del Caribe Colombiano. *Catálogo Científico*. Colombia, 283 p.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

Zlatarski, V. N. y N. Martinez. 1982. Les Scléreactiniales de Cuba avec des donnés sur les organismes associés. Académie Bulgare des Sciences. Sofia. 472 pp.

# CAPÍTULO V

IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS  
IMPACTOS AMBIENTALES, ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL  
SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL





# PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

## ÍNDICE

V. IDENTIFICACION, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL....	2
V.1. Lista indicativa de indicadores de impacto.....	4
V.2. Criterios y metodologías de evaluación.....	7
V.3 Metodologías de evaluación y justificación de la metodología seleccionada.	8
V.4. Identificación y valoración de los impactos generados por el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas” .....	16
V.5 Descripción de los impactos ambientales. ....	114
V.6. Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales.....	141
V.7. Conclusiones. ....	155
V.8. Referencias.....	159

### V. IDENTIFICACION, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL

Con base en la información referente a las obras y actividades contempladas en el “proyecto **“Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”** (capítulo IV) y la caracterización del SAR (capítulo II) de esta MIA-R, en este capítulo se identifican, describen y evalúan los efectos que pueden ser generados en el ambiente por la interacción de las acciones contempladas en el desarrollo del proyecto y los componentes ambientales.

La precisión de la información de los capítulos antes mencionados es de suma importancia para determinar la significancia de los efectos producidos en el ambiente, pues los efectos derivados de cualquier tipo de proyecto dependen de factores como la naturaleza del proyecto (tipo, magnitud, etc.) y el tipo o tipos de ecosistemas sobre los cuales se desarrollará, así como su resistencia y resiliencia. La valoración de los efectos implica llevar a cabo la comparación de un escenario previo a la realización del proyecto considerando la línea base versus el escenario potencial que se presentaría con la ejecución del proyecto en cuestión, lo cual involucra la interacción de variables controladas (obras y acciones) y variables aleatorias (factores ambientales) por lo que los efectos sobre el ambiente son inciertos. Si bien se cuenta con una gran cantidad de información y datos científicos respecto a los daños ambientales frente al desarrollo de obras, la incertidumbre gobierna gran parte de los resultados que pueden ser obtenidos pues el grado de modificación que pueden sufrir las características intrínsecas del propio ecosistema (elasticidad, resiliencia, resistencia, fragilidad, la composición de especies, la estructura y funcionalidad) determinará el estado final de éste.

El proyecto **“Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”** contempla la colocación de estructuras artificiales (arrecifes artificiales) que servirán de protección a la playa frente al **hotel asociado al proyecto** además de obras encaminadas a la regeneración del ancho de playa seca mediante el reciclado de la arena que se acumula de forma natural en diversos bancos (zonas de acumulación de arena) próximos a la zona de proyecto. Las estructuras estarán conformadas por piezas de roca caliza ocupando un área total de 0.4186 ha. Puerto Morelos, lugar de pretendida ubicación del proyecto, es



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

una zona que presenta procesos erosivos en sus playas pues se ha observado un retroceso en la línea de costa (100 m aprox.) desde 1979 al año 2014 (Carranza-Edwards *et al.*, 2015) lo cual fue corroborado por el estudio de dinámica costera para esta zona (Anexo II.1). Ante esta situación, se pretende coadyuvar a la conservación de la playa a través de la regeneración de la misma incorporando arena a la zona y con la instalación de arrecifes artificiales con el fin de disipar la energía de las olas y con ello disminuir los procesos erosivos de la zona además de permitir la continuidad de los procesos marinos. Cabe señalar que el proyecto y como una forma de solucionar el problema, incluye la sustitución de los espigones rígidos por andadores piloteados de madera que permitan el paso tanto del agua como de los sedimentos.

No obstante, si bien la instalación de estas estructuras ayudará a conservar la playa, se prevén algunos efectos en el ambiente por las acciones contempladas en la ejecución de este proyecto. Estos efectos serán valorados de acuerdo a su magnitud e importancia en este capítulo para con ello determinar la significancia de los impactos ambientales tomando como base la definición establecida en el Reglamento de la LGEEPA, en su artículo 3, fracción IX, el cual define un impacto significativo o relevante como *“aquel que resulta de la acción del hombre o de la naturaleza, que provoca alteraciones en los ecosistemas y sus recursos naturales o en la salud, obstaculizando la existencia y desarrollo del hombre y de los demás seres vivos, así como la continuidad de los procesos naturales”*.

### **Indicadores de impacto.**

El sistema ambiental regional implica de manera implícita procesos altamente complejos involucrando una serie de factores ambientales bióticos y abióticos, así como de múltiples interacciones. Esto hace sumamente difícil la selección de variables a través de las cuales puedan detectarse cambios en la calidad de un sistema y faciliten su comparación e interacción para evaluar los niveles de cambio de manera integral. Sin embargo, es de suma importancia poseer indicadores cualitativos o cuantitativos que permitan evaluar la dimensión de las alteraciones que podrán producirse como consecuencia del establecimiento de un proyecto o del desarrollo de una actividad. Es así que los indicadores ambientales juegan un papel importante en la valoración de impactos ambientales pues sintetizan una



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

gran cantidad de información para interpretar un fenómeno o un proceso en particular de forma más simple y sistémica (OCDE 1993), lo que hace posible cuantificar y comunicar la información relevante (Gallopín 1997).

Considerando lo anterior, se señalan a continuación los indicadores seleccionados para la valoración de los posibles impactos ambientales que el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” puede ocasionar en el SAR.

### V.1. Lista indicativa de indicadores de impacto

Considerando la información de los capítulos II y IV, en donde se describieron las acciones contempladas y las características ambientales del sitio, se seleccionaron las siguientes variables.

**Tabla 1.** Lista de indicadores de impacto ambiental del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.

Factor ambiental	Indicador de impacto	Descripción
<b>Abiótico</b>		
<b>Agua marina</b>	<b>Calidad del agua</b>	Se refiere a la modificación de las características físico-químicas por la posible contaminación o resuspensión de sedimento debido al desarrollo de las acciones contempladas en el proyecto. El indicador será cualitativo a través del tipo de desechos que serán generados, las características del sedimento y el área afectada además de la susceptibilidad de la zona.
<b>Fondo marino</b>	<b>Cantidad</b>	Esta variable se refiere a la modificación de la cantidad de sedimento por las acciones que serán llevadas a cabo. Este indicador será valorado a través del tipo de sedimento presente y las condiciones del sitio.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factor ambiental	Indicador de impacto	Descripción
<b>Dinámica marina</b>	<b>Transporte Litoral</b>	Este indicador contempla la alteración del transporte de sedimento natural que se presenta en la zona marina por la instalación de obras permanentes en el medio marino. Este indicador será valorado a través de la modelación del transporte litoral con la presencia y ausencia de estas estructuras.
	<b>Perfil de playa</b>	Esta variable considerará los cambios en la morfología de las playas por la alteración del transporte de sedimentos debido a la instalación de las obras de abrigo. Este indicador será valorado a través de la modelación del transporte litoral con la presencia y ausencia de estas estructuras.
<b>Biótico</b>		
<b>Biota marina</b>	<b>Cobertura</b>	Se refiere al grado de afectación de individuos de las especies presentes que habitan la zona. Será determinada a través del área que será perturbada directamente por las acciones contempladas en el proyecto.
	<b>Hábitat</b>	Se refiere a las modificaciones ocasionadas en el hábitat de las especies y en consecuencia en la dispersión o distribución y ecología de la fauna local causados en cualquier etapa del proyecto, así como los efectos indirectos del mismo, como la interrupción del libre desplazamiento de los individuos. El cambio será determinado, considerando la superficie afectada.
	<b>Movilidad</b>	Esta variable considerará la afectación del libre paso de las especies de organismos vágiles por la zona debido a la instalación de



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factor ambiental	Indicador de impacto	Descripción
		los arrecifes artificiales. Este indicador será valorado de acuerdo al diseño y área que será ocupada por las estructuras y la biología y ecología de estas especies.
Tortuga marina	Acceso a las áreas de anidación y regreso al mar.	Este indicador involucra la afectación del libre paso de las especies de tortugas marinas a las áreas de anidación y su regreso al mar por la instalación de los arrecifes artificiales. Este indicador será valorado de acuerdo a la importancia como zonas de anidación para estas especies y al área que será ocupada por las estructuras.
	Áreas de alimentación	Este indicador se refiere a la posible la afectación de las áreas de alimentación de la tortuga marina (pastos marinos) y que también sirven de refugio para muchas especies por resuspensión de sedimento durante las acciones contempladas en el proyecto. La afectación será medida de acuerdo al tipo de sedimento existente y las corrientes predominantes de la zona.
	Paso de las crías hacia el mar	Este indicador se refiere al libre paso de las crías en su nado hacia mar abierto por la instalación de los arrecifes artificiales. Será valorado considerando la estructura de los arrecifes artificiales y el número de crías que nacen en la playa de acuerdo a la importancia de la playa para la nidación de las tortugas.
<i>Lobatus gigas</i> (caracol rosado)	Movilidad	Esta variable considerará la afectación del libre paso de las especies de moluscos por la zona debido a la instalación de los arrecifes artificiales. Este indicador será valorado de



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factor ambiental	Indicador de impacto	Descripción
		acuerdo al diseño y área que será ocupada por las estructuras y la biología y ecología de estas especies.
<b>Perceptual</b>		
<b>Paisaje (P)</b>	<b>Incidencia visual</b>	Se refiere al cambio ocurrido en el paisaje por el desarrollo del proyecto y se determinará a través de la superficie que será afectada por la modificación del entorno.

Respecto a los indicadores antes señalados, la biota es considerada como la flora y la fauna bentónica y necton del sitio que no se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM- 059-SEMARNAT-2010. Los organismos de la biota que pueden ser susceptibles a sufrir impactos de mayor relevancia fueron considerados como indicadores individuales (e. g. tortuga marina, específicamente las que arriban a la zona, *Caretta caretta*, *Eretmochelys imbricata* y *Chelonia mydas* y *L. gigas*).

### V.2. Criterios y metodologías de evaluación.

Con la finalidad de llevar a cabo la evaluación del posible efecto de las actividades involucradas en el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas” a través de los indicadores antes mencionados, se tomó en cuenta lo siguiente:

- La línea base. Esto es las características y condiciones del Sistema Ambiental Regional en el momento cero.
- Las características que el área puede presentar con el desarrollo del proyecto.
- Los impactos específicos en las fases del proyecto: instalación y operación. Cabe mencionar que considerando las características del proyecto y el área en la que se pretenden instalar las nuevas estructuras no se contempla la fase de preparación del sitio, por lo que únicamente se considerarán las etapas de instalación y operación.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

Con base en estos preceptos, se utilizaron instrumentos metodológicos para identificar y valorar los impactos ambientales derivados de la ejecución del proyecto.

El proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, consiste en tres elementos con el objetivo de conservar la playa, los cuales son mencionados a continuación:

- El primero corresponde a la instalación de estructuras artificiales conformadas por piezas de roca caliza de la región (sascab) para crear cuatro barreras artificiales ocupando un área de 0.4186 ha.
- Retiro de espigones e instalación de andadores piloteados para permitir la circulación del agua en el sitio.
- La regeneración de la playa a través de la incorporación de arena en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales.

Considerando lo antes señalado, si bien la colocación de las nuevas estructuras se realizará con el fin de ayudar a la conservación de la playa, se ocasionarán efectos en el medio ambiente por la ejecución de este proyecto, los cuales serán identificados y valorados en este capítulo.

### **V.3 Metodologías de evaluación y justificación de la metodología seleccionada**

En la actualidad existe una gran cantidad de metodologías y técnicas utilizadas para la evaluación de los impactos ambientales, por lo que no se ha alcanzado un consenso sobre el uso específico de cada una de ellas. La aplicación de las diversas técnicas depende de sus características y alcances (Canter 1988) pues las técnicas que actualmente se usan y han usado por mucho tiempo presentan fortalezas y debilidades en su aplicación. Esto indica que el uso de diversas técnicas en la evaluación de los impactos ambientales puede solventar y reforzar la información que de ellas se deriva respecto a los cambios ambientales.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Considerando que cada proyecto involucra características propias y que no existen criterios universales a través de los cuales se pueda seleccionar una metodología o técnica en particular, esto hace necesaria la participación de un equipo multidisciplinario para la selección de una metodología lo más objetiva y clara, a través de la cual, se utilice la información del medio y del proyecto para inferir e interpretar los posibles impactos que pueden generarse, así como determinar la capacidad del medio para absorber el efecto de estos impactos. La identificación, descripción y valoración de estos impactos es un elemento esencial en la detección de efectos dañinos al ambiente y para determinar los cambios que se pueden originar en el o los ecosistemas.

Con base en lo antes expuesto y con el fin de obtener información para cuantificar y valorar los efectos que podrían ocasionarse con el desarrollo del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, se utilizó la metodología propuesta por Gómez-Orea (1999, 2007), mediante la cual se lleva a cabo la identificación y valoración de los impactos ambientales potencialmente ocasionados durante el desarrollo del proyecto, a través del uso de una Matriz de Leopold y la cuantificación de los impactos ambientales. Además, se hizo uso de redes de interacción como una técnica complementaria al análisis.

### **Descripción de la metodología y técnicas utilizadas.**

#### **Grafos de relación causa-efecto.**

Los grafos de relación causa-efecto son también denominados redes de interacción y son métodos que como su nombre lo indica integran las causas de los impactos y sus consecuencias a través de la identificación de las interrelaciones que existen entre las acciones causales y los factores ambientales que reciben el impacto, incluyendo efectos secundarios y terciarios. Son útiles para identificar los impactos previstos asociados a los proyectos y comunicar esto a las partes interesadas (Canter 1998).

### **Métodos matriciales.**

Los métodos matriciales son técnicas bidimensionales que relacionan acciones con factores ambientales y son utilizadas principalmente para la etapa de identificación. La modalidad más simple de estas matrices muestra las acciones del proyecto en un eje y los factores del medio a lo largo del otro. Cuando se prevé que una actividad va a incidir en un factor ambiental, éste se señala en la celda de cruce, describiéndose en términos de su magnitud e importancia (Canter 1998).

### **Metodología de Domingo Gómez Orea (Gómez-Orea 1999).**

La evaluación de los impactos ambientales propuesta por Gómez-Orea (1999), se realiza a partir de la creación de una matriz o tabla de doble entrada, en la cual se disponen como columnas las acciones del proyecto, y como filas los factores ambientales; arreglándolos en forma arborescente y desagregando el proyecto en niveles: fase y acción, y el ambiente en: medio, factor y subfactor.

A partir de esta matriz, se identifican los posibles impactos definiendo las interacciones de las acciones o actividades que se llevarán a cabo en las diferentes fases del proyecto con los factores/subfactores ambientales, marcando dichas interacciones, cuando existan, en la celda de cruce, obteniendo de esta forma una matriz de interacción.

Una vez identificadas las interacciones, se lleva cabo la valoración cuantitativa de los impactos ambientales, con base en la incidencia o importancia de los impactos ambientales, (severidad y forma de alteración) y su magnitud (cantidad y calidad del factor modificado por la acción), siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Cálculo del índice de incidencia estandarizado entre 0 y 1.
2. Cálculo del índice de magnitud, a través de:
  - a) Determinación de la magnitud en unidades distintas, heterogéneas, inconmensurables para cada impacto.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

b) Transformación de las unidades heterogéneas a unidades homogéneas, comparables adimensionales. Estandarización del valor de la magnitud entre 0 y 1.

3. Cálculo del valor de cada impacto a partir de la magnitud y la incidencia antes obtenidas.

4. Cribado de impactos ambientales relevantes a partir de los valores obtenidos para cada impacto con base en valores de juicio.

A continuación, se describe el proceso que se sigue para la determinación de los índices de incidencia y magnitud.

### Cálculo del índice de Incidencia estandarizado ( $I_{std}$ )

El cálculo del índice de incidencia inicia con la caracterización de cada uno de los impactos identificados en la matriz de interacción, por medio de 10 atributos mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Atributos para caracterizar los impactos ambientales

Atributos
1. <b>Signo.</b> Se refiere al carácter del impacto y se determina como positivo si el impacto es benéfico o negativo si es perjudicial.
2. <b>Inmediatez.</b> Describe el tiempo de repercusión sobre el ambiente. Se puede presentar un efecto directo si la repercusión es inmediata en algún factor ambiental o un efecto indirecto si la repercusión deriva de un efecto primario.
3. <b>Acumulación.</b> Define el carácter del impacto si éste es acumulativo, cuando se presenta un incremento continuo de la gravedad cuando se prolonga la acción que lo genera.
4. <b>Sinergia.</b> Se refiere al reforzamiento de efectos simples que se produce cuando la coexistencia de varios efectos simples produce un efecto superior a su suma simple.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Atributos
5. <b>Momento.</b> Se refiere al lapso de tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del efecto. Corto (anual), medio (antes de 5 años), largo (mayor de 5 años).
6. <b>Persistencia.</b> Se define por el tiempo de permanencia del efecto desde su aparición. Puede considerarse como permanente si sucede por tiempo indefinido, mientras el temporal permanece por un tiempo determinado.
7. <b>Reversibilidad.</b> Se define como reversible si el efecto es asimilado por el ambiente, de tal manera que se recuperen las condiciones iniciales una vez producido el efecto, o irreversible cuando el efecto no puede ser asimilado por el ambiente o lo es, después de mucho tiempo.
8. <b>Recuperabilidad.</b> Un impacto se determina como recuperable cuando existe la posibilidad de reconstruir el factor afectado por medio de la intervención humana o natural, mientras no lo es el irrecuperable.
9. <b>Periodicidad.</b> Frecuencia de manifestación del impacto y se define como periódico, cuando se presenta de forma cíclica o recurrente, e irregular cuando se manifiesta de forma impredecible en el tiempo.
10. <b>Continuidad.</b> Se define al impacto continuo cuando produce una alteración constante en el tiempo, mientras el discontinuo se manifiesta de forma intermitente o irregular.

Cada uno de los atributos anteriores es tipificado, y cada tipo posee un código numérico para poder describir cada impacto. Lo cual es mostrado en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Atributos para la caracterización de los impactos ambientales identificados en la matriz de interacción. (Tomado de Gómez-Orea 1999).

Atributo	Tipos	Código
Signo		(+)
		(-)
Inmediatez (I)	Directo	3
	Indirecto	1
Acumulación (A)	Acumulativo	3
	Simple	1



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Atributo	Tipos	Código
Sinergia (S)	Fuerte	3
	Media	2
	Leve	1
Momento (M)	Corto	3
	Medio	2
	Largo	1
Persistencia (P)	Permanente	3
	Temporal	1
Reversibilidad (Rv)	Largo	3
	Medio	2
	Corto	1
Recuperabilidad (R)	Difícil	3
	Media	2
	Fácil	1
Periodicidad (P)	Periódico	3
	Irregular	1
Continuidad (C)	Continuo	3
	Discontinuo	1

Después de haber caracterizado el impacto, la incidencia o importancia, se obtiene a través de la suma de todos los valores obtenidos (código numérico) por atributo, para cada impacto identificado como se muestra a continuación:

$$Incidencia = I + A + M + S + P + Rv + R + P + C$$

Finalmente, el índice de incidencia se estandariza ( $I_{std}$ ), para obtener valores entre 0 y 1 mediante la expresión:

$$I_{std} = \frac{(I - I_{min})}{(I_{máx} - I_{min})}$$

Donde:

$I_{std}$  = valor de incidencia obtenido de la sumatoria de cada atributo.

$I$  = valor de incidencia estandarizado obtenido por un impacto.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

$I_{máx}$  = valor de la expresión en caso de que los atributos se manifiesten con el valor mayor.

$I_{min}$  = valor de la expresión en caso de que los atributos se manifiesten con el valor menor.

### Cálculo del índice de magnitud ( $I_M$ )

La estandarización de la magnitud se lleva a cabo a través del uso de funciones de transformación siempre que sea posible a través del uso de los indicadores ambientales cuantitativos. Si no se cuenta con este tipo de indicadores, la estandarización se realiza a través de valores cualitativos y una escala de medición como se muestra a continuación. De esta forma la magnitud se calculará para cada factor ambiental mediante el indicador que se considere más conveniente en cada caso, estandarizando el resultado final entre 0 - 1, de forma que la magnitud será valorada como se muestra en la siguiente tabla.

### Cálculo de la Magnitud ( $M$ ).

La magnitud se calculará para cada factor ambiental mediante el indicador que se considere más conveniente en cada caso, estandarizando el resultado final entre 0–1, de forma que la magnitud será valorada como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla 4.** Valores de magnitud para evaluar impactos ambientales.

Magnitud	Valor
Muy Alta	1
Alta	0.8
Media	0.6
Baja	0.4
Muy Baja	0.2

Los indicadores serán de tipo cuantitativo siempre que se pueda, y en el caso de que no sea posible su uso, se utilizarán indicadores cualitativos. En todo caso, los indicadores seleccionados corresponderán con el nivel de detalle del proyecto en el momento de realizar esta MIA- R y el conocimiento disponible sobre el entorno.



### Obtención del Valor final del Impacto.

El valor final del impacto se calculará multiplicando los valores de la Incidencia estandarizada ( $I_{std}$ ) y la Magnitud (M). El resultado obtenido oscilará entre 0 y 1 y se ajustará mediante la matriz mostrada en la siguiente tabla.

**Tabla 5.** Matriz de valoración de impactos de acuerdo a la incidencia y magnitud de los impactos (Tomada de Gómez-Orea 2007).

Valo del impacto ( $I_{std}$ * M)	INCIDENCIA											
	MUY ALTA		ALTA		MEDIA		BAJA	MUY BAJA		NULA		
	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	
MAGNITUD	MUY ALTA (1)	1 (C)	0.9 (C)	0.8 (C)	0.7 (C)	0.6 (S)	0.5 (S)	0.4 (S)	0.3 (M)	0.2 (M)	0.1 (Cm)	NO IMPACTO
	ALTA (0.8)	0.8 (C)	0.72 (C)	0.64 (S)	0.56 (S)	0.48 (S)	0.4 (S)	0.32 (M)	0.24 (M)	0.16 (M)	0.08 (Cm)	NO IMPACTO
	MEDIA (0.6)	0.6 (S)	0.54 (S)	0.48 (S)	0.42 (S)	0.36 (M)	0.3 (M)	0.24 (M)	0.18 (M)	0.12 (Cm)	0.06 (Cm)	NO IMPACTO
	BAJA (0.4)	0.4 (S)	0.36 (M)	0.32 (M)	0.28 (M)	0.24 (M)	0.2 (M)	0.16 (M)	0.12 (Cm)	0.08 (Cm)	0.04 (Cm)	NO IMPACTO
	MUY BAJA (0.2)	0.2 (M)	0.18 (M)	0.16 (M)	0.14 (Cm)	0.12 (Cm)	0.1 (Cm)	0.08 (Cm)	0.06 (Cm)	0.04 (Cm)	0.02 (Cm)	NO IMPACTO
	NULA (0)	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO	NO IMPACTO

De esta forma, la valoración de los impactos ambientales se realizará considerando los siguientes valores de juicio señalados a continuación.

**Tabla 6.** Valores de juicio mediante (Tomada de Gómez-Orea 2007).

VALORES DE JUICIO	
CRITICO (C)	0.66 – 1
SEVERO (S)	0.37 - 0.65
MODERADO (M)	0.16 - 0.36
COMPATIBLE (Cm)	0 - 0.15

El carácter del impacto será definido bajo los criterios de cada clase mostrados en la tabla siguiente.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 7.** Definición de las clases consideradas para la valoración de los impactos ambientales (Tomada de Gómez-Orea 2007).

Carácter del impacto	Definición
Compatible (Cm)	Si el impacto tiene poco efecto, recuperándose el medio por sí mismo sin medidas correctoras e inmediatamente tras el cese de la acción.
Moderado (M)	Si la recuperación, sin medidas correctoras intensivas, implica un periodo considerable.
Severo (S)	Si la recuperación exige un tiempo prolongado, incluso con la actuación de medidas correctoras.
Crítico (C)	Si se produce una pérdida permanente de las condiciones ambientales sin posible recuperación, incluso con la adopción de prácticas o medidas correctoras.

### V.4. Identificación y valoración de los impactos generados por el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Las acciones que se pretenden realizar en el área y las condiciones ambientales de la misma son elementos importantes para la identificación y evaluación de efectos en el ambiente. Con base en estos elementos es posible determinar las acciones que pueden ocasionar efectos adversos en los componentes ambientales.

Cabe mencionar que, si bien el proyecto será realizado en un SAR totalmente marino, se llevarán a cabo acciones en tierra previas a la instalación de las estructuras programadas y del resto de los elementos contemplados. Estas acciones serán su transporte hacia la playa y el uso de maquinaria para el traslado de las piezas. Los efectos que estas acciones puedan ocasionar en tierra no fueron considerados en esta MIA-R ya que la zona en la que se prevee se podrían presentar, forma parte de un proyecto ya evaluado y autorizado en materia de impacto ambiental, a través del oficio resolutorio D.O.O. DGOEIA.-005955 de fecha 15 de septiembre de 1999 (proyecto “El Cid de Cancún”). Es así que las afectaciones posibles como emisión de ruido y de gases, han sido valoradas





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

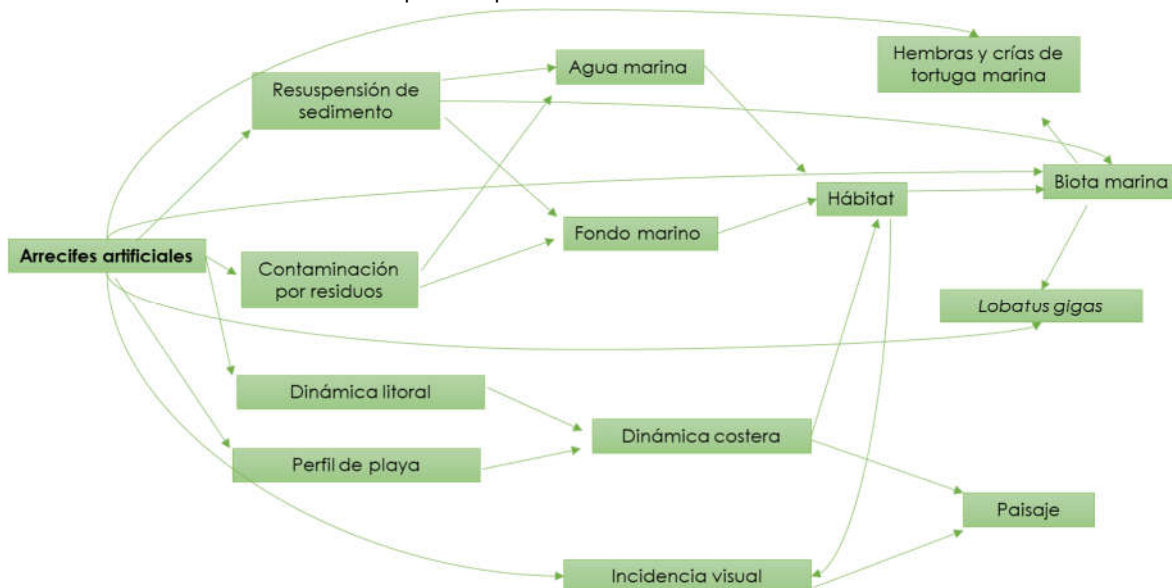
anteriormente tanto para el desarrollo turístico así como para la construcción del hotel en mención y al cual estará asociado el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”. No obstante, con el fin de favorecer la protección del ambiente, se verificará que las medidas establecidas para la prevención, mitigación y compensación se implementen de manera adecuada, y dando cumplimiento en todo momento a las normas oficiales mexicanas referentes a ruido y emisión de gases a través de la contratación de empresas acreditadas respetando el horario de trabajo que se determine, además de que no se permitirá realizar actividades de mantenimiento de maquinaria (e.g. cambio de lubricantes gastados), dentro del área del proyecto “EL CID”, ya que se contará con un patio de maniobras donde se recibirán las piezas que conformarán los AA, el cual será instalado en el lote 16, predio donde se pretende la construcción de un hotel (lote 16), evitar cualquier afectación al medio.

Es importante señalar que la ejecución de este proyecto traerá consigo, además de impactos ambientales negativos, beneficios sociales en la comunidad. Por un lado, en el nivel de empleo, ya que con este proyecto se pretende contratar personal y empresas del municipio ayudando con ello a su economía, y por otro al nivel de recreación que podrán tener los visitantes en el Hotel. La playa está sujeta a procesos de erosión que han ocasionado un retroceso en la línea de playa, por lo que con la instalación de los arrecifes artificiales se ayudará a conservar este sitio proveyendo así espacios de diversión y distracción para los turistas nacionales e internacionales. Es así que en este apartado se valoran únicamente los impactos ambientales perjudiciales al ambiente que el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” puede ocasionar en su ejecución. El análisis de identificación y valoración de impactos se realizará a continuación para cada uno de los elementos que conforman este proyecto: Arrecifes artificiales, Regeneración de playa y Andadores piloteados.

### ELEMENTO: ARRECIFES ARTIFICIALES (ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN)

#### Grafo de relación causa-efecto.

Las redes de interacción como se mencionó anteriormente son una técnica muy útil en la primera aproximación a las afectaciones potenciales que un proyecto puede ocasionar en el o los ecosistemas por lo que, considerando las obras y actividades que el proyecto contempla en su desarrollo y las características ambientales del SAR, se generó el grafo de relación causa-efecto respecto a los cuatro arrecifes artificiales que se pretenden instalar.



**Figura 1.** Grafo de relación causa-efecto de la instalación de los arrecifes artificiales.

Con la instalación de los arrecifes artificiales se pretende la colocación de piezas de roca caliza para su conformación, por lo que al contacto con el fondo marino se ocasionará la resuspensión del sedimento afectando de manera directa la calidad del fondo marino por la pérdida de sedimento y del agua al incrementar la turbidez en el sitio, modificando así las características físico-químicas del área.

De la misma forma con la colocación de las estructuras se ocasionarán efectos en la biota del sitio de manera directa en las áreas de instalación ocasionando la



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

mortalidad de flora y fauna bentónica reduciendo así su cobertura de manera local. La fauna nectónica o demersal dada su alta capacidad de movilidad, serán ahuyentados a nuevas áreas.

Otro efecto sobre la biota es el asociado a la resuspensión de sedimento, pues una vez que el sedimento se encuentra en la columna de agua es transportado por las corrientes para después precipitarse de nuevo al fondo en otras zonas. Este sedimento entonces puede ocasionar efectos en la biota modificando las condiciones del hábitat o de manera directa, obstaculizando las funciones vitales de los organismos por el sedimento precipitado, causando así el daño o muerte de los individuos.

Las cuatro estructuras paralelas a la costa podrían fungir como una barrera para algunas especies. El Caribe Mexicano es considerada una zona de importancia para la reproducción de las tortugas marinas, ya que, de las ocho especies existentes en el mundo, siete llegan a las costas mexicanas. En la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, se ha reportado el arribo de tres especies de tortuga marina: verde (*Chelonia mydas*), caguama (*Caretta caretta*) y Carey (*Eretmochelys imbricata* que anidan en la zona, por lo que la presencia de las estructuras puede obstaculizar su libre paso hacia las áreas de anidación y su regreso al mar. Esto mismo podría suceder con las crías en su nado hacia mar abierto pudiendo ocasionar su daño o muerte.

Además de la tortuga marina, en el sitio se distribuye el caracol rosado (*Lobatus gigas*) considerado de importancia comercial y cuyas poblaciones se han visto disminuidas por esto estableciéndose una temporada de veda para la recuperación de las poblaciones (DOF, 2015). Las poblaciones de esta especie podrían ser afectadas por la instalación de los arrecifes artificiales de manera directa por su colocación y al ser estructuras lineales podrían significar barreras para el paso de estos animales, ya que se sabe tienen una zonificación de acuerdo a su etapa de desarrollo y migraciones horizontales por alimento o reproducción (Stoner et al. 1988; De Jesús-Navarrete y Valencia-Beltrán 2003, Danylchuck et al. 2003, Robertson 1959, Alcolado 1976; Hesse 1979, Appeldoorn 1997, Orr y Berg 1987, Noguez Núñez y Aldana Aranda 2014).

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Para llevar a cabo la instalación de las estructuras será necesaria la presencia de personal, lo que puede generar impactos ambientales derivados de la generación de residuos por consumo de alimentos alterando las características físico-químicas del agua y del fondo marino si los desechos se precipitan al fondo, impactando en el hábitat y con ello en la biota que habita en la zona. Asimismo, el personal que será contratado podría cazar, dañar o coleccionar ejemplares de flora o fauna del sitio afectando así a la biota marina.

La instalación de arrecifes artificiales tendrá efectos en la dinámica costera ya que estas estructuras serán colocadas con el fin de minimizar la fuerza de las olas que ingresan a la playa y que ocasiona su pérdida por erosión. Al colocar las estructuras y disminuir la fuerza del oleaje el transporte litoral será modificado pues se prevé que el sedimento ingresará, podrá ser conservado en esas áreas y que la playa podrá recuperarse por lo que el perfil de playa será modificado.

Finalmente, colocar elementos artificiales en zonas naturales afecta de manera directa al paisaje al incidir en la percepción del espacio en el que se ubican las estructuras.

### **Identificación de Interacciones Factor ambiental-Acciones del proyecto.**

Con base en la información obtenida en capítulos anteriores (capítulo II y IV de la MIA-R), se identificaron las actividades susceptibles de generar efectos en el ambiente, así como aquellos factores ambientales que pueden ser afectados por estas actividades durante la ejecución de este proyecto.

Considerando esto, se muestran a continuación las acciones que poseen un riesgo de afectación al ambiente y aquellos factores ambientales que pueden sufrir efectos por dichas actividades.

### **Acciones susceptibles de generar impactos y factores ambientales potencialmente afectados.**

Uno de los elementos contemplados en la ejecución de este proyecto es la instalación de cuatro arrecifes artificiales paralelos a la zona costera, por lo que las



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

acciones identificadas que pueden ocasionar impactos en el ambiente se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 8.** Acciones que pueden ocasionar impactos ambientales durante la instalación de los arrecifes artificiales.

Arrecifes Artificiales (estructuras de protección)	
Construcción	Operación y mantenimiento
Colocación de estructuras Presencia de personal Generación de residuos	Presencia de estructuras Posible reacomodo de estructuras que hayan sido removidas por eventos naturales.

Es importante mencionar que debido a que el traslado de las piezas en el medio marino se realizará a través de un sistema de remolque compuesto por winches y una barcaza (plataforma flotante), en este proceso no se prevén impactos en el ambiente, por lo que esta acción no fue considerada como generadora de impactos.

Los componentes ambientales que pueden sufrir algún efecto por la instalación de los arrecifes artificiales se muestran a continuación.

**Tabla 9.** Factores ambientales susceptibles de recibir impactos ambientales durante la instalación de los arrecifes artificiales.

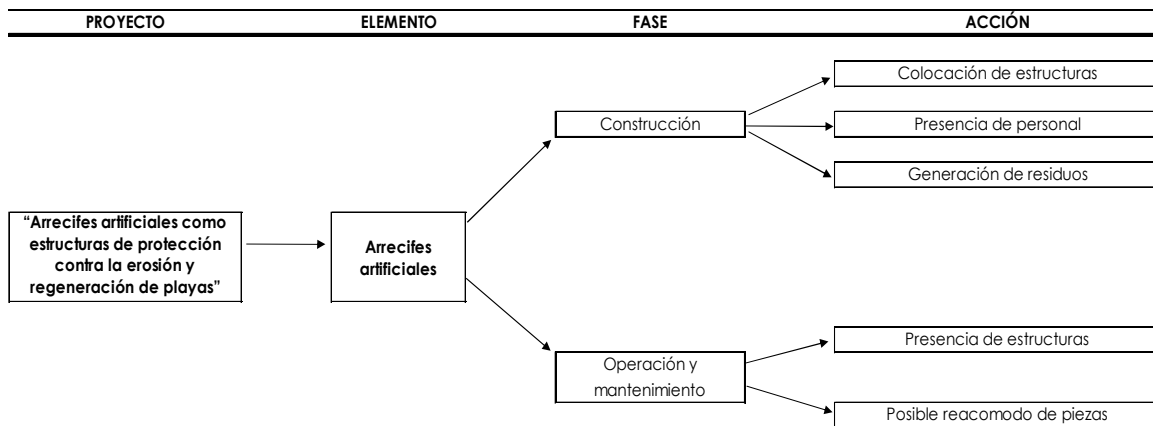
Factores ambientales susceptibles de sufrir un impacto ambiental.		
Ambiente Marino		
Medio	Factor	Subfactor
Abiótico	Agua	Calidad
	Fondo marino	Calidad
	Dinámica costera	Perfil de playa
Biótico	Biota marina	Hábitat
		Cobertura (bentónica)
		Movilidad



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factores ambientales susceptibles de sufrir un impacto ambiental.		
	Tortugas marinas (hembras)	Acceso y a las zonas de anidación y regreso al mar.
		Áreas de alimentación (pastos marinos)
	Tortugas marinas (crías)	Libre paso de crías hacia el mar.
	Lobatus gigas	Movilidad
Perceptual	Paisaje	Incidencia visual
Socio-económico	Económico	Nivel de empleo
	Social	Recreación

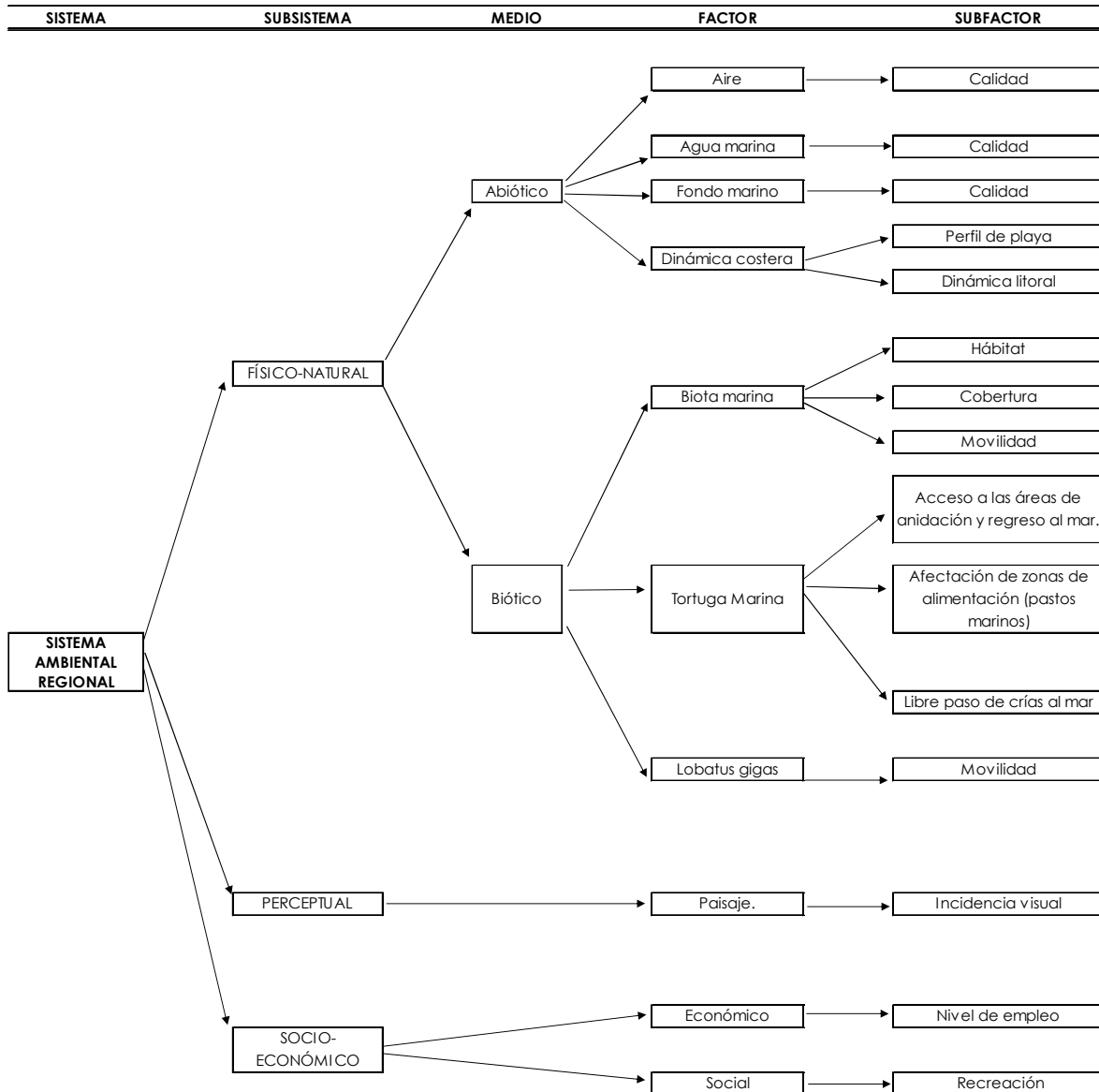
Con lo antes señalado, se crearon los árboles de acciones y de factores ambientales, los cuales son mostrados a continuación para con ello generar la matriz de identificación de impactos.



**Figura 2.** Árbol de acciones contempladas en la instalación de los arrecifes artificiales.



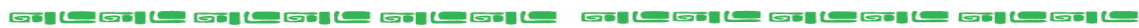
## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 3.** Árbol de factores ambientales que pueden ser afectados por la instalación de los arrecifes artificiales.

### Matriz de interacción

A partir del análisis de la matriz de interacción se obtuvieron un total de 32 interacciones factor ambiental-acción del proyecto, de las cuales 26 serán



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

perjudiciales y 6 benéficas (socio-económicos). De las 26 interacciones negativas, 18 se presentarán en la etapa de construcción y 8 en la etapa de operación y mantenimiento que se muestran en la siguiente figura.

Proyecto Elemento  Fase					Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas					
					Estructuras de protección (Rompeolas)					
					Construcción				Operación y mantenimiento	
					Transporte de estructuras en medio marino a través de barcaza	Colocación de estructuras	Presencia de personal	Generación de residuos	Presencia de estructuras	Posible reacondo de estructuras
Sistema	Subsistema	Medio	Factor	Subfactor						
SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL	FÍSICO-NATURAL	Abiótico marino	Agua	Calidad	X	X		X		
			Fondo marino	Calidad		X		X		
			Dinámica costera	Perfil de playa		X			X	
				Dinámica litoral		X			X	
		Biota marina	Hábitat		X	X	X		X	
				Cobertura		X		X		
			Movilidad		X	X			X	
							X			X
		Tortuga marina (hembras)	Acceso a zonas de anidación y regreso al mar		X				X	
			Áreas de alimentación (pastos marinos)		X					
	Tortuga marina (crías)	Libre paso de crías hacia el mar		X				X		
	Lobatus gigas	Movilidad		X				X		
		Perceptual	Paisaje	Incidencia visual					X	
		SOCIO-ECONOMICO	Socio-Económico		Nivel de empleo	X	X	X	X	X

Figura 4. Matriz de interacción.

### V.4.1 Caracterización y valoración de los impactos ambientales

Una vez determinadas las posibles interacciones entre los factores ambientales y las actividades involucradas en la ejecución de las obras, se identificaron las afectaciones ambientales potenciales, las cuales serán presentadas a



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

continuación de manera breve y su efecto sobre los componentes ambientales será valorado de acuerdo al grado de afectación del mismo a través de la importancia y magnitud, con base en la metodología descrita con anterioridad.

Los efectos potenciales serán valorados para cada factor ambiental considerado. Con el fin de determinar la relevancia de los impactos identificados, se llevó a cabo el cálculo de los índices de incidencia ( $I_{std}$ ) y de magnitud ( $IM$ ), para determinar aquellos que serán significativos.

### **Cálculo del valor del impacto.**

#### **Índice de Incidencia ( $I_{std}$ ) y de Magnitud ( $IM$ ) por factor ambiental.**

Los índices de incidencia y magnitud, se calcularon de acuerdo a la metodología descrita previamente. Para ello los impactos se caracterizaron de acuerdo a los 10 atributos señalados con base en sus características. Posteriormente, se definieron los indicadores que pudieran reflejar la magnitud de éstos. Los indicadores seleccionados fueron en la medida de lo posible cuantitativos. Cuando no fue posible, se llevó a cabo la valoración de la magnitud con la ayuda de indicadores cualitativos.

A continuación, se presenta la identificación y valoración de los impactos ambientales que serán generados por la ejecución del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”.

### **Factor ambiental: AGUA MARINA**

#### **Fase: Construcción**

Con la instalación de las nuevas estructuras destinadas a la recuperación de la playa, se ocasionará la resuspensión de sedimento por la turbulencia ocasionada incrementando la turbidez del agua, principalmente en la colocación de los primeros elementos estructurales que son los que impactarán directamente en el fondo ocasionando que el sedimento flote ( $AMro1$ ,  $I_{std}=0.51$ ). La magnitud de este



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

impacto se determinó con base en el área que será afectada respecto al área del SAR, el tipo de sedimento y las corrientes que prevalecen en la zona.

En la siguiente tabla se muestra el área que será ocupada por cada arrecife artificial y el porcentaje de afectación de cada uno respecto al área del SAR.

**Tabla 10.** Área de ocupación de las estructuras contempladas en el proyecto.

Estructura	Dimensiones (planta) (m)	m <sup>2</sup>	ha	% del SAR (267.37 ha)
E1	70 x 6.9 (parte paralela a la costa)	483	0.0483	0.0181
	50 x 6.9 (parte paralela a la costa)	345	0.0345	0.0129
E2	70 x 7.9	553	0.0553	0.0207
E3	90 x 9.3	837	0.0837	0.0313
E4	120 x 16.4	1968	0.1968	0.0736
<b>Total</b>		<b>4186</b>	<b>0.4186</b>	<b>0.1566</b>

Con esta información, se observa que el área que será afectada por la instalación de las estructuras son en total 0.4186 ha, de las cuales la estructura 4 es la de mayor tamaño (0.1968 ha). El total de afectación de estas estructuras corresponde al 0.15% del área total del SAR (267.37 ha), por lo que se trata de un área muy pequeña de afectación.

De acuerdo con el diseño de las estructuras y la caracterización del ambiente marino, las estructuras del norte (2, 3 y 4) se localizarán en un ambiente de laja con algas. Éste se caracteriza por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición, mientras que la estructura del sur (1) ocupará dos ambientes, rocas con algas y laja con



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

sedimentos. El sedimento encontrado en la zona es de fácil resuspensión con alto contenido de carbonato (95.90%, Carranza- Edwards *et al.*, 2015) formando una capa de no más de 5 cm. Durante las acciones contempladas, el sedimento será liberado a la columna de agua creando una pluma de turbidez y alterando con ellos las características físico-químicas del agua, sin embargo, aunque los sedimentos finos pueden ser depositados a grandes distancias (ICES 1996; Hill *et al.*, 1999, Newell *et al.* 1998, Hitckock y Bell 2004) la capa de sedimento que se presenta en las estructuras es muy delgada y se ha visto con base en algunos estudios que la sedimentación es rápida y confinada a la vecindad de la actividad (Newell *et al.*, 1999).

Finalmente, la corriente que prevalece en la zona es de sur a norte para entrar al canal de Yucatán e ingresar eventualmente al Golfo de México (Merino y Otero 1991). Este patrón es más complejo, ya que se presenta una corriente costera que fluye paralela al litoral en dirección norte-sur y tienen una dinámica propia (Merino 1986). Esta contracorriente caracteriza a las porciones más internas de la costa quintanarroense. Esta contracorriente es más fuerte cuando aumenta la fuerza de la corriente (mitad de primavera) y en época de nortes, los vientos predominantes hacia el sur fortalecen asimismo la contracorriente. La tendencia básica sur-norte del flujo continúa de manera parcial hasta la porción norte de la costa del Caribe Mexicano. La contracorriente norte-sur se establece con mayor claridad y fuerza entre dos puntos prominentes del litoral (Merino 1986). La mezcla de ambos flujos forma giros de amplitud variable y de forma longitudinalmente alargada cuyo flujo resultante se dirige hacia la costa (Merino 1986, Suárez-Morales y Rivera-Arriaga 1998). De esta forma la pluma de dispersión tendería a dirigirse al sur para luego retornar a la zona norte siguiendo el patrón de contracorriente y giros entre puntas para retornar a la costa. Cabe mencionar que además del patrón existen dos barreras (marina y muelle fiscal) que podrían contener parte de este flujo.

Tomando en consideración que el área de afectación corresponde al 0.15 % del SAR, que, si bien el sedimento en la zona es de fácil resuspensión, éste se encuentra en capas delgadas por lo que la cantidad resuspendida sería baja, la magnitud se determinó como muy baja (0.2). Es importante mencionar que para evitar que el sedimento resuspendido se disperse a otras zonas e impacte en la calidad del agua del sitio, se colocará una malla geotextil, la cual será removida una vez que se



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez. Para determinar esto, se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras con el fin de verificar que la turbidez del agua presente las mismas condiciones a las iniciales.

**Tabla 11.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados por las estructuras de protección en el factor ambiental: AGUA MARINA.

Factor ambiental: Agua marina															
Construcción															
<b>AMro1.</b> Alteración de las características físico-químicas del agua debido a la resuspensión de sedimento derivado de la instalación de las estructuras (arrecifes artificiales).															
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	2	3	3	1	1		18	0.51	0.2	0.10	Cm
<b>AMro2.</b> Alteración de las características físico-químicas del agua debido a la posible contaminación de la misma por el mal manejo de residuos producidos en esta etapa.															
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	3	3	3	1	1		19	0.56	0.2	0.11	Cm

Durante la etapa de instalación de las estructuras, la calidad del agua marina podría ser afectada por la producción de desechos (AMro2, Istd=0.56) si no se tiene un buen manejo de los mismos. Los residuos producidos en esta etapa provendrán del personal que será contratado para ejecutar las acciones (envases, envolturas, etc.), por lo que la cantidad que será generada en esta etapa será mínima, siendo así la magnitud del impacto muy baja (0.2). No obstante, se tendrán contenedores para residuos orgánicos e inorgánicos en donde serán depositados todos los



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

desechos producidos y trasladados al hotel asociado al proyecto en donde se les dará el manejo y disposición final correctos ya que actualmente en el Hotel se cuenta con un **Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial** (Anexo V.2). Además de esto, se prohibirá arrojar cualquier tipo de residuo al agua. Por otro lado, si en la etapa de operación y mantenimiento se requiere el uso de embarcaciones para el reacomodo de las piezas o para acciones de monitoreo, serán como máximo dos embarcaciones menores con motor fuera de borda, las cuales serán contratadas a una empresa que deberá probar que están en buenas condiciones para su uso y que están sujetas a mantenimiento constante para evitar la contaminación del agua por algún derrame. No obstante, se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame o demás afectaciones a los ecosistemas para evitar afectaciones mayores en caso de algún incidente.

### **Factor ambiental: FONDO MARINO**

#### **Fase: Construcción**

Un aspecto importante que puede modificar la calidad del fondo marino es la resuspensión de sedimentos por la turbulencia asociada a las acciones de instalación de las estructuras (FMro1,  $I_{std} = 0.61$ ). La magnitud de este impacto se determinó con base en el área que será afectada respecto al área del SAR y el tipo de sedimento. Como se ha señalado el área afectada por los arrecifes artificiales serán 0.4186 ha, lo que corresponde al 0.15 % del área total del SAR (267.37 ha), por lo que se trata de un área muy pequeña de afectación. Aunado a esto, las estructuras del norte (2, 3 y 4) se localizarán en un ambiente de laja con algas, caracterizado por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición, mientras que la estructura del sur (1) ocupará dos ambientes, rocas con algas y laja con sedimentos formando una capa de no más de 5 cm, lo que muestra que la afectación al fondo marino por la resuspensión de sedimento será muy baja. Por esto la magnitud se determinó como muy baja (0.2). El impacto en el fondo será inevitable, sin embargo, se colocará una malla geotextil, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez, lo cual será corroborado a través de la vigilancia de la turbidez del agua marina.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Los desechos generados en esta fase pueden resultar en la contaminación del fondo marino, sobre todo por los residuos sólidos provenientes del personal que pueden precipitarse al fondo (FMro2,  $I_{std}=0.61$ ). No obstante, todos los residuos generados serán colectados en la zona en contenedores y dispuestos en las áreas destinadas para ello en el hotel asociado al proyecto, el cual estará a cargo de su manejo y disposición final, ya que actualmente en el Hotel se cuenta con un Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial. Además de esto se prohibirá arrojar cualquier tipo de residuo al agua. Aunado a esto, si bien en la etapa de operación y mantenimiento se requiere el uso de embarcaciones para el reacondo de las piezas o para acciones de monitoreo, serán como máximo dos embarcaciones menores con motor fuera de borda, las cuales serán contratadas a una empresa que deberá probar que están en buenas condiciones para su uso y que están sujetas a mantenimiento constante para evitar la contaminación del agua por algún derrame. No obstante, se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame o demás afectaciones a los ecosistemas para evitar afectaciones mayores en caso de algún incidente. Tomando en cuenta esto, la magnitud se determinó como muy baja (0.2).

**Tabla 12.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados por las estructuras de protección en el factor ambiental: FONDO MARINO

Factor ambiental: Fondo marino															
Construcción															
<b>FMro1.</b> Modificación de la calidad de sedimento marino por la instalación de las estructuras lo cual ocasionará resuspensión de sedimento.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	3	1	1		20	0.61	0.2	0.13	Cm
<b>FMro2.</b> Alteración de las características físico-químicas del fondo marino debido a posible contaminación por el mal manejo de residuos producidos en esta etapa.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factor ambiental: Fondo marino														
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	3	1	1	20	0.61	0.2	0.13	Cm
<b>FMro3.</b> Modificación del lecho marino por la instalación de las estructuras de protección costera al alterar la topografía del sitio durante la construcción de los AA.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	3	3	1	3	20	0.61	0.2	0.12	Cm
Operación y mantenimiento														
<b>FMro4.</b> Modificación del lecho marino por la instalación de las estructuras de protección costera al alterar la topografía del sitio en la etapa d operación de los AA.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	3	3	1	3	20	0.61	0.2	0.12	Cm

Durante la construcción de los arrecifes artificiales el lecho marino será modificado (FMro3, Istd=0.61) y este efecto será permanente una vez instalados (FMro4, Istd=0.61) pues el lecho marino contará con estructuras exógenas que modificarán la topografía. Al instalar los Arrecifes artificiales en el sitio, se tendrá un cambio abrupto en la topografía además de perder espacios que actualmente se encuentran libres. La magnitud de estos impactos fue determinada por el área que será modificada respecto al área total del SAR y el grado de alteración que se presentará por la instalación de las estructuras.

Los AA serán instalados sobre ambientes de bajo relieve (estructuras 2, 3 y 4 en laja con algas y estructura 1, en rocas con algas y laja con arena de capa fina), por lo que colocar los arrecifes que contarán con una altura entre 1.5 (E1) a 4 m (E4) de acuerdo a la profundidad más extrema en la estructura cuatro, alterará drásticamente la topografía. Actualmente en el SAR se ubica la marina del hotel



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

asociado al proyecto y el muelle fiscal ocupando un área aproximada de 9.77 ha y 0.82 ha respectivamente, siendo en total 10.59 ha. El área que ocuparán los arrecifes artificiales será de 0.4186 ha. Por otro lado, los espigones tienen una longitud aproximada de 56 m y un ancho de 10 m, por lo que el área que ocupa cada espigón es alrededor de 560 m<sup>2</sup>. Se contempla la instalación de 84 pilotes circulares sobre un dado de concreto de 50 cm por 50 cm ocupando un área de 0.25 m<sup>2</sup> por pilote por lo que el área a ocupar por los 84 pilotes será alrededor de 21 m<sup>2</sup> por cada andador, ocupando los tres andadores contemplados, un área total de 63 m<sup>2</sup> (0.0063 ha). Además, el área que será ocupada por el relleno en la zona como se señaló anteriormente será de 0.787 ha. En suma, el área total de ocupación en el SAR considerando la infraestructura actual (10.59 ha) y el área ocupada por los arrecifes artificiales (0.4186 ha), los andadores piloteados (0.0063) y el área que será rellenada (0.787 ha) será de 11.8 ha por lo cual, si bien será un impacto permanente, el área de afectación representa un incremento de 1.21 ha lo que en total representa el 4.4 % del área total del SAR siendo un área de ocupación y modificación del fondo baja y local. Si bien los procesos en el mar no son lineales, la dimensión (longitud y altura) y disposición de las estructuras juega un papel esencial en el efecto que pueden tener en el sitio. Los AA ocuparán una zona muy pequeña de manera discontinua que permitirá la conectividad en el área y si bien se tendrá una zona contrastante respecto a la topografía actual, la afectación será local en el SAR. Esta ganancia en complejidad generará además una oferta de hábitat más en una zona con biota escasa.

Las estructuras que serán colocadas en el sitio podrán servir como sustrato para el reclutamiento de especies en el sitio, ya que, si bien representan elementos ajenos al ambiente, estos arrecifes artificiales serán conformados por piezas rugosas en forma de cubos que al ser colocados podrán mantener oquedades que servirán de refugio para los organismos y la porosidad necesaria para el establecimiento de comunidades sobre ellos. Se ha observado que los arrecifes artificiales pueden proveer hábitats favorables para productores primarios y secundarios y como zona de crianza para algunos peces, sin presentar impactos adversos en la distribución o abundancia de macrozoobentos o peces (Manny et. al., 1985). Estas estructuras pueden servir además como de zonas de paso y dispersión para la recolonización de hábitats naturales. Muchas especies sésiles necesitan sustratos duros sobre los que adherirse y estas estructuras pueden jugar un papel similar a las montañas



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

marinas o montículos, aportando una estructura intermedia de fijación y dispersión de esporas, gametofitos, huevos y larvas.

Por otro lado, una vez que las estructuras se encuentren en operación debido al peso de las estructuras se podría presentar la deformación del lecho marino en fondos marinos no consolidados (arenosos, arena gruesa o pedacera de organismos) (Sassa y Sekiguchi 1999, Zhao et al. 2016, Mendoza Avila 2018, Chen et al. 2019), por exceso de poros de presión, lo cual no sucede en lechos marinos muy densos, (Shen et al. 2017) en donde debido a la densificación los poros son menores (Zhang et al. 2019). Como se menciona en el capítulo IV de esta MIA-R, los cuatro AA serán colocados sobre un sustrato de laja, por lo que la deformación del lecho marino por licuefacción no sucederá, ya que se trata de un fondo duro que no será afectado por el peso de las estructuras.

Considerando que aun cuando el lecho marino será modificado de manera permanente, el efecto será local y que con ello se incrementará la complejidad coadyuvando al establecimiento de biota marina sin que esto afecte de manera sustancial al lecho marino del SAR, la magnitud de este impacto se determinó como muy baja (0.2).

### **Factor ambiental: BIOTA MARINA**

#### **Fase: Construcción y operación y mantenimiento**

Durante la fase de construcción de las estructuras y operación y mantenimiento se generarán impactos ambientales en la biota marina que se presentan en la siguiente tabla.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 13.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados por las estructuras de protección en el factor ambiental: BIOTA MARINA.

Factor ambiental: Biota Marina																
Construcción																
<b>BMro1.</b> Pérdida de hábitat debido a la Instalación de las estructuras lo que disminuye el área natural en la zona.																
<b>Atributos</b>											<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>del</b>	<b>Valor de juicio</b>
<b>Signo</b>	<b>I</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>Rv</b>	<b>R</b>	<b>Pd</b>	<b>C</b>		<b>I</b>	<b>Istd</b>	<b>M</b>	<b>Istd*M</b>		
(-)	3	2	2	3	3	3	3	1	3		23	0.78	0.2	0.16	M	
<b>BMro2.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres y de las especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por daño directo.																
<b>Atributos</b>											<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>del</b>	<b>Valor de juicio</b>
<b>Signo</b>	<b>I</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>Rv</b>	<b>R</b>	<b>Pd</b>	<b>C</b>		<b>I</b>	<b>Istd</b>	<b>M</b>	<b>Istd*M</b>		
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	1		23	0.78	0.4	0.31	M	
<b>BMro3.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres y de las especies citada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por resuspensión de sedimento.																
<b>Atributos</b>											<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>del</b>	<b>Valor de juicio</b>
<b>Signo</b>	<b>I</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>Rv</b>	<b>R</b>	<b>Pd</b>	<b>C</b>		<b>I</b>	<b>Istd</b>	<b>M</b>	<b>Istd*M</b>		
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	1		23	0.78	0.4	0.31	M	
<b>BMro4.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la posible contaminación del agua por el mal manejo de residuos.																
<b>Atributos</b>											<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>del</b>	<b>Valor de juicio</b>





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factor ambiental: Biota Marina														
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	1	3	3	3	2	1	3	21	0.66	0.2	0.13	Cm
<b>BMro5.</b> Mortandad o daño a la biota por la presencia de personal en el sitio.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor impacto del	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	3	3	3	1	1	19	0.55	0.2	0.11	Cm
<b>BMro6.</b> Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a las acciones contempladas para instalar las estructuras														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor impacto del	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	1	22	0.72	0.4	0.28	M
<b>BMro7.</b> Afectación a zonas de alimentación de la Tortuga marina y refugio para otras especies (pastizales) por la resuspensión de sedimento durante la construcción de los arrecifes artificiales.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor impacto del	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	2	2	1	1	21	0.66	0.2	0.13	Cm
Etapa de operación y mantenimiento.														
<b>BMro8.</b> Mortandad o daño a la biota por la presencia de visitantes en el sitio.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor impacto del	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	1	3	3	3	2	1	3	23	0.77	0.2	0.15	Cm

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Factor ambiental: Biota Marina

**BMro9.** Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a la instalación de las estructuras

Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	3		25	0.83	0.4	0.34	M

**BMro10.** Afectación al libre paso de las crías de tortuga marina debido a la presencia de las estructuras impidiendo su llegada a mar abierto e incrementando su probabilidad de mortandad.

Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	3		25	0.88	0.4	0.35	M

**BMro11.** Afectación a la movilidad de *Lobatus gigas* debido a la presencia de las estructuras impidiendo el libre paso en el área.

Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	3	3	3	3	3	1	3		24	0.83	0.2	0.16	Cm

En la zona marina, la biota será afectada directamente, pues se modificará el ambiente en el que vive por la instalación de las estructuras al ser elementos ajenos a su entorno natural (BMro1, Istd= 0.78) reduciendo el hábitat. La magnitud de este impacto se determinó como muy baja (0.2) con base en el área que será ocupada por las estructuras respecto al SAR delimitado.

El área que será afectada por la instalación de las estructuras son en total 0.4186 ha, de las cuales la estructura 3 es la de mayor tamaño (0.1968 ha). El total de



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

afectación de estas estructuras (0.4186 ha) corresponde al 0.15 % del área total del SAR (267.37 ha), por lo que se trata de un área muy pequeña de afectación. Además de esto, es importante hacer notar que los arrecifes artificiales serán un sustrato en el cual las especies puedan colonizar y establecerse pues se ha observado que estas estructuras pueden proveer hábitats favorables para productores primarios y secundarios y como zona de crianza para algunos peces, sin presentar impactos adversos en la distribución o abundancia de macrozoobentos o peces (Manny, B., *et al.*, 1985). En adición a esto, Burt, *et al.* (2011), encontraron que las comunidades bentónicas que se establecen en los arrecifes artificiales tienden a ser más similares a los arrecifes naturales con el tiempo (ca. 31 años) pero que aún las comunidades más maduras son distintas a las de los arrecifes naturales. Estos autores mencionan que arrecifes artificiales con una antigüedad menor o igual a 5.5 años presentaron una mayor abundancia de algas, esponjas, bivalvos y sustrato vacío, mientras los más antiguos ( $\geq 25$  años) estuvieron dominados por corales. La cobertura de coral en arrecifes artificiales entre 25 y 31 años de antigüedad (46% y 56% respectivamente) fue significativamente más alta que los arrecifes naturales (37 %).

Por otro lado, con el retiro de los espigones que actualmente se ubican en el área y la instalación de los andadores piloteados se tendrá espacio libre para el reclutamiento de individuos. Los espigones tienen una longitud aproximada de 56 m y un ancho de 10 m, por lo que el área que ocupa cada espigón es alrededor de 560 m<sup>2</sup>. Se contempla la instalación de 84 pilotes circulares sobre un dado de concreto de 50 cm por 50 cm ocupando un área de 0.25 m<sup>2</sup> por pilote y 21 m<sup>2</sup> en total, por lo que el área que se dejará libre será de 539 m<sup>2</sup> por cada espigón. Ante esto si bien habría pérdida de hábitat en el fondo marino, estas estructuras y la liberación de nuevos espacios por el retiro de espigones minimizará el efecto en el hábitat.

Asimismo, la biota será afectada al disminuir su cobertura en el sitio ya sea de manera directa por la instalación de las estructuras ocasionando la mortandad de los organismos que se encuentren en el área de colocación (BMro2) o bien por efecto la resuspensión de sedimento (BMro3).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Debido a la instalación de los arrecifes artificiales la biota que se encuentre en el área de afectación directa será afectada, perdiendo individuos y con ello disminuyendo la cobertura del sitio o abundancia ( $BM_{ro2}$ ,  $I_{std} = 0.78$ ) con mayor efecto sobre las especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

La magnitud del impacto  $BM_{ro2}$ , se definió tomando en cuenta el tipo de ambiente en donde serán colocados los arrecifes artificiales y las especies presentes en ellos, además del área que será afectada por la instalación de los arrecifes artificiales respecto al ambiente(s) afectado(s) y al SAR.

De acuerdo con el diseño de las estructuras y la caracterización del ambiente marino (capítulo IV), las estructuras del sur (2, 3 y 4) se localizarán en un ambiente de laja con algas. Éste se caracteriza por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición (de 58 a 78 %). La mayoría de este tipo de ambiente tiene presencia del alga roja de la especie *Amphiroa rigida*, seguida del alga verde carnosa *Rhipilia tomentosa*, y el alga verde calcárea de la especie *Halimeda tuna*. En la estructura 4 la variedad de especies que componen la vegetación marina es alta, siendo dominantes las algas rojas del género *Dasya* y la especie *Acanthophora spicifera*; también es importante la presencia de algas verdes de crecimiento erecto como son las de los géneros *Halimeda*, *Penicillus* y *Rhipilia*. Los gorgonáceos en la E2 y E3 son colonias de tamaño mediano. En la E2, dominan los géneros *Plexaurella*, *Eunicea* y *Pseudoplexaura* y en la E3 *Gorgonia*, y ausentes en la E4. Los corales son más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de varios tamaños, la mayoría de forma incrustante y algunas masivas, muchas de las cuales presentaron daño por sedimentación y mortalidad parcial, y también se registraron varias colonias de tamaño mediano del coral cerebro de la especie *Pseudopterogorgia clivosa*. En cuanto a los corales en la E2 los corales son más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de varios tamaños, la mayoría de forma incrustante, pero algunas masivas, muchas de las cuales presentaron daño por sedimentación y mortalidad parcial, y también se registraron varias colonias de tamaño mediano del coral cerebro de la especie *Pseudodiploria clivosa*. En la E3. Los corales son mucho más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de tamaño mediano (30



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

cm de diámetro aprox.) y presencia de algunas colonias de coral cerebro del género *Pseudodiploria*, mientras que en la E4 los corales son escasos.

Respecto a los pastos marinos como se ha mostrado en la caracterización marina realizada en el sitio (capítulo IV y Anexo IV.1), el ambiente de pastizal mixto ocupa un área extensa (42.67 ha) y homogénea en el SAR **fuera del área de afectación directa** por la instalación de los arrecifes artificiales, la cual no será impactada por este proyecto. Es de suma relevancia mencionar que previo a la propuesta final de ubicación de los arrecifes artificiales que se presenta en este MIA-R se consideraron dos alternativas de ubicación distintas previas, sin embargo, debido a que en éstas si se afectaba de manera directa al pastizal, en superficies de más de 30 m, la ubicación propuesta en primera y segunda instancia de los arrecifes artificiales fue modificada con el fin de evitar alterar el pastizal. Es así que la propuesta final que se presenta en este documento es la mejor alternativa no sólo en términos de impactos a la biota sino también de funcionalidad, pues de acuerdo con el estudio técnico de ingeniería de ser ubicados en otro sitio ya no cumplirían con la función de reducir la energía del oleaje para la recuperación de la playa.

La afectación a este ambiente será de 0.3357 ha, lo que corresponde a 0.58 % del ambiente de laja con algas (57.26 ha) y al 0.12 % del área total del SAR (267.37 ha). Cabe mencionar que en el muestreo de la estructura cuatro se registró la especie de gorgonáceo *Plexaura homomalla* citada en la NOM- 059-SEMARNAT-2010, sujeta a protección especial con una abundancia rara (menos del 1%) y únicamente en la época de secas. Asimismo, las especies de peces *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae* en protección especial fueron observadas con abundancias variables en las estructuras.

La estructura del norte (1) será instalada sobre laja con sedimentos. El ambiente presenta una dominancia de algas rojas de las especies *Acanthophora spicifera* y *Dasya ocellata*, seguido de algas verdes de los géneros *Halimeda* y *Avrainvillea*. Se registraron algunos ejemplares de gorgonáceos, con dominancia de la especie *Pterogorgia anceps* de tamaño mediano, y algunos ejemplares de colonias pequeñas y dispersas de coral de la especie *Siderastrea siderea*. Las colonias de coral de la parte perpendicular de esta estructura se observaron de color muy oscuro, con una incidencia de mortalidad reciente del tejido mayor al 50%, lo que



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

puede ser un efecto de los lixiviados generados por el arribazón excesivo del alga marina. El ambiente de laja con sedimentos está cubierto por una capa de sedimento muy fino que no tiene más de 5 cm de grosor. La estructura uno ocupará un área de 0.0828 ha, lo que equivale a una afectación del 0.14 % del ambiente de laja con algas, del 5 % del de rocas con algas y del 0.03 % del SAR.

Considerando la biota presente en el sitio de afectación en donde se registró la presencia de cuatro especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo III (DOF, 14/11/2019), y las características de éstas, así como su abundancia y el área menor que será impactada, la magnitud se determinó como baja (0.4). Es relevante mencionar que para prevenir la afectación a los individuos de *P. homomalla* y de otros organismos importantes, se llevará a cabo el rescate y reubicación de individuos para evitar cualquier afectación a los mismos. En el caso de los peces, al ser vágiles éstos serán ahuyentados por la presencia del personal y las acciones en el sitio por lo que no se prevén efectos adversos en estos organismos.

La biota puede ser asimismo impactada por la resuspensión de sedimento por la turbulencia asociada a la instalación de los arrecifes artificiales ocasionando mortandad o daño a la biota aledaña, incluyendo a las especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010) disminuyendo su cobertura en el sitio (BMro3,  $I_{std}= 0.78$ ). Durante las acciones contempladas, el sedimento será liberado a la columna de agua creando una pluma de turbidez y alterando con ellos las características físico-químicas del agua. La magnitud se determinó considerando el tipo de sedimento y cantidad en el área que serán colocadas las estructuras, así como la biota aledaña.

De acuerdo con el diseño de las estructuras y la caracterización del ambiente marino, las estructuras del sur (2, 3 y 4) se localizarán en un ambiente de laja con algas. La estructura del norte (1) ocupará el ambiente de laja con sedimentos y algas formando una capa de no más de 5 cm. El sedimento encontrado en la zona es de fácil resuspensión con alto contenido de carbonato (95.90%, Carranza-Edwards et. al.,2015). Cabe mencionar que se detectó la presencia de cuatro especies en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059- SEMARNAT-2010 y la modificación del anexo normativo III de la misma (DOF, 14/11/2019): los





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

gorgonáceos *Plexaura homomalla* en protección especial en la estructura cuatro presentando una abundancia rara (menos del 1%) y únicamente en la época de secas. Asimismo, las especies de peces *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae* fueron registradas en las estructuras con abundancia variable. Los pastos marinos *S. filiforme* y *T. testudinum* fueron registradas en las cuatro estructuras únicamente en época de lluvias. **No obstante, con el cambio de posición**, durante la época de secas **ya no se registró ninguna especie de pasto marino en los sitios de instalación de las estructuras.**

Basándose en las corrientes del sitio la pluma de dispersión tendería a dirigirse hacia el sur por la contracorriente y retornaría siguiendo un giro hacia el norte (Merino 1986, Suárez-Morales y Rivera-Arriaga 1998) en donde se encuentran pastizales y laja con algas, no obstante, la pluma de sedimento será muy baja dada la cantidad de sedimento en el área de afectación y en zonas aledañas. Aunado a lo anterior, si bien se encuentran especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, éstas se registraron con una abundancia rara (menos del 1% de la frecuencia total registrada). Respecto a los peces, al ser seres vágiles, serán ahuyentados por el movimiento y la presencia del personal por lo que el efecto sobre estos organismos será menor. Por lo anterior la magnitud se determinó como baja (0.4). Sin embargo, para evitar que el sedimento resuspendido se disperse a otras zonas e impacte en la biota, se colocará una malla geotextil, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez. Para determinar esto, se llevará a cabo la observación de la turbidez del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras con el fin de verificar que el agua presente las mismas condiciones de turbidez que las iniciales.

Los residuos provenientes del personal podrían afectar a la biota marina contaminando el área ( $BM_{ro4}$ ,  $I_{std}=0.66$ ). La magnitud de este impacto fue determinada considerando el tipo de residuos, su procedencia y las características del ambiente. Como se señaló anteriormente, la pluma tendería a moverse siguiendo la corriente del oleaje (E, ESE, Anexo II.1) y la contracorriente norte-sur y los giros de la zona pudiendo afectar al ambiente de precipitarse al fondo. Los residuos que se pueden producir provendrán del personal que labore en el sitio (residuos de alimentos, bebidas, etc.) así como posibles pedazos de roca. Al



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

respecto, es relevante mencionar que la cantidad de personal que laborará en el sitio directamente en el agua serán alrededor de 15 personas, las cuales serán instruidas previamente en las reglas de trabajo y disposición y manejo de residuos. Aunado a esto los trabajadores podrán hacer usos de las instalaciones de comedor y sanitarios del hotel, así como los contenedores para desecho con los que éste cuenta. Por otro lado, si en la etapa de operación y mantenimiento se requiere el uso de embarcaciones para el reacomodo de las piezas o para acciones de monitoreo, serán como máximo dos embarcaciones menores con motor fuera de borda, las cuales serán contratadas a una empresa que deberá probar que están en buenas condiciones para su uso y que están sujetas a mantenimiento constante para evitar la contaminación del agua por algún derrame. No obstante, como medida preventiva se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame o demás afectaciones a los ecosistemas. Dado que la cantidad de residuos que podrían generarse es baja, además de las acciones que se implementarán para evitar cualquier afectación, la magnitud se definió como muy baja (0.2).

La presencia de personal en la zona durante la instalación de estructuras (BMro5,  $I_{std}=0.55$ ), además de la presencia de visitantes en la etapa de operación de las estructuras puede ser un agente de afectación para la biota del sitio al tratar de capturar o remover algún ejemplar o causar daño a los organismos de manera directa (BMro8,  $I_{std}= 0.77$ ). La magnitud de estos impactos se determinó como muy baja (0.2) considerando que, de acuerdo a los estudios de caracterización realizados en la zona, se trata de un área con ambientes de laja con algas y laja con sedimento y algas, en donde se registró presencia de corales y gorgonáceos entre los cuales si bien se observaron dos especies sujetas a protección especial de acuerdo con la NOM-59-SEMARNAT-2010, se observaron en abundancia relativa baja. Es de notar que en la zona de laja con algas se encontraron algunos individuos de *L. gigas*. Sin embargo, la cantidad de personal que trabajará directamente en el área será baja siendo personal capacitado previamente y profesional. No obstante, se establecerán acciones tendientes a la protección de la fauna, por ello previo al inicio de las actividades se señalarán reglas de operación para el personal en donde se les hará saber las pautas a seguir y las sanciones que deriven de su incumplimiento. Asimismo, se hará del conocimiento de los visitantes que está prohibido cazar, capturar o alimentar a la fauna del sitio



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

o extraer cualquier tipo de material biogénicos del sitio, además de situarse en las estructuras.

La instalación de las estructuras será una medida para frenar el proceso severo de erosión que sufre la playa frente al hotel asociado al proyecto, sin embargo, las estructuras también representan barreras artificiales en el medio.

En la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales se ha registrado anidación de tortugas marinas. Dado que estas estructuras serán colocadas en la zona marina, éstas podrían fungir como obstáculos para el libre paso de estos organismos hacia las playas de anidación y su regreso a la playa durante el proceso de instalación (BMro6,  $I_{std}=0.72$ ) y aún más en la etapa de operación de los arrecifes artificiales (BMro9,  $I_{std}=0.83$ ). De acuerdo con la información obtenida, en el área del proyecto se ha registrado la presencia de tres especies de tortugas marinas, *Caretta caretta* (caguama), *Chelonia mydas* (verde o blanca) y *Eretmochelys imbricata* (carey) que arriban a la zona para anidar. La magnitud del impacto BM6, se determinó considerando el área que será ocupada por las estructuras respecto al SAR, la situación actual de la playa respecto a la anidación de tortugas, las principales playas de anidación de tortugas que han sido identificadas y el efecto que las acciones que se realizarán significarán para las playas de anidación.

Actualmente, los principales registros y estudio de las poblaciones de tortugas marinas que anidan en Quintana Roo son coordinados por el trabajo de investigación y monitoreo que realiza la asociación civil Flora, Fauna y Cultura de México, A. C. a través del Programa de Conservación de Tortugas Marinas Riviera Maya-Tulum, en coordinación con el Comité Estatal para la Protección, Investigación, Conservación y Manejo de Tortugas Marinas y en alianza con instancias gubernamentales y centros de investigación nacionales e internacionales. De acuerdo con esta asociación civil, son 13 las playas de mayor densidad de anidación de México cubriendo un total de 35.4 kilómetros de litoral costero de Quintana Roo. Estas playas se caracterizan por la alta concentración de nidos por metro cuadrado, llegando a encontrar un máximo de cuatro a seis nidos en un metro cuadrado de playa ([www.conacytprensa.mx](http://www.conacytprensa.mx)). [www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/mundo-vivo/19592-quintana-roo-](http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/mundo-vivo/19592-quintana-roo-)



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

tortugas-marinas-en-mexicoLa asociación Flora, Fauna y Cultura de México A. C. protege a las tortugas marinas en las playas de: Solidaridad, Xel-Há, Cozumel y Tulum; así como cuatro áreas naturales protegidas de Quintana Roo: el Santuario de la Tortuga Marina Xcacel-Xcacelito, Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano, Parque Nacional Tulum y Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. La protección de las 13 playas de anidación se realiza a través de cinco campamentos tortugueros: Aventuras-DIF, Xcacel, Xel-Há, Kanzul y Caahpechén ([www. florafauyacultura. org](http://www.florafauyacultura.org)).

Con base en la información presentada, es posible mencionar que la playa frente al hotel asociado al proyecto no forma parte de las playas principales de anidación de tortugas marinas (Briseño y Abreu 1998, [www. florafauyacultura. org](http://www.florafauyacultura.org)). Sin embargo, el hotel cuenta con el “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”, que fue reconocido en el 2015 por el Comité Estatal de Tortugas Marinas de Quintana Roo y el Parque Nacional de Arrecifes de Puerto Morelos-CONANP, por lo que el Hotel se suma cada año a las actividades del Programa de Protección de Playas y Anidación de tortugas Marinas del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos para la protección de estos organismos. Con la implementación de este programa se ha podido llevar el registro de las especies que arriban a la playa como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 14.** Anidación de tortugas marinas en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales. Fuente: Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo.

Sp.	Playa	Historial de anidación tortugas marinas Hotel el Cid 2006 - 2017							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Chelonia mydas	No. de nidos	2	2	9	7	3	6	6	6
	No. de huevos	223	257	1030	689	339	532	569	299
	No. huevos eclosionados	182	215	718	525	284	331	103	ND
	Huevos infértiles	41	42	64	124	50	185	470	ND
	crías liberadas	182	215	718	525	284	331	102	164
	crías muertas	0	0	248	40	5	16	1	2
Caretta caretta	No. de nidos	ND	ND	ND	ND	1	ND	8	ND
	No. de huevos	ND	ND	ND	ND	118	ND	823	ND
	No. huevos eclosionados	ND	ND	ND	ND	113	ND	166	ND
	Huevos infértiles	ND	ND	ND	ND	3	ND	657	ND
	crías liberadas	ND	ND	ND	ND	113	ND	156	ND
	crías muertas	ND	ND	ND	ND	2	ND	10	ND
Et	No. de nidos	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Sp.	Playa	Historial de anidación tortugas marinas Hotel el Cid 2006 - 2017								
		Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	No. de huevos		298	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	No. huevos eclosionados		268	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Huevos infértiles		30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	crías liberadas		268	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	crías muertas		0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND = No disponible.

A partir de estos datos se observa que el arribo de tortugas a la zona es escaso con un promedio de cinco nidos /temporada en un área aproximada de 1.74 ha (17,400 m<sup>2</sup>) desde el muelle fiscal hasta la marina, con preferencia especial de la región ubicada frente al hotel asociado al proyecto, lo que implicaría una densidad de nidos muy baja respecto a las playas de importancia mencionadas anteriormente. Dentro del SAR se ha observado que la zona principal de anidación de tortugas se ubica desde la escollera de la marina hasta Punta Brava siendo la más importante ésta última.

La baja densidad de nidos podría estar asociada al proceso de erosión que se ha presentado con un consecuente retroceso de la línea de costa como se muestra en el estudio técnico realizado en la zona (Anexo II.1), alterando así las características de la playa aunado al desarrollo turístico que se ha incrementado, pues se ha visto que *C. caretta* y *C. mydas* presentan un mayor éxito de anidación y eclosión en playas naturales sin ningún tipo de infraestructura (Pike 2008). La pérdida de playa en la zona, la modificación del perfil y la amplitud de la misma son factores que también podrían afectar la anidación. Se ha observado que *C. mydas* y *E. imbricata* anidan en la zona supralitoral en playas amplias y estables o mesolitoral (límite de la marea alta y la marea baja) cuando las playas son de poca amplitud, siendo menor su anidación en zonas erosionadas y donde existen estructuras (espigones, arrecifes artificiales). La tortuga carey, anida principalmente en la zona baja de la playa aumentando el riesgo de pérdida de nidos (Piedra-Castro y Morales-Cerda 2015). Los factores que inciden en la disminución de nidos en las playas son la erosión, la pérdida de longitud de playa y aumento de pendiente de ésta, pues esto provoca que la tortuga encuentre un obstáculo y efectúe un mayor esfuerzo para depositar sus huevos fuera de la zona intermareal. Al no poder superar estas pendientes, se ven obligadas a desovar en zonas afectadas directamente por mareas y oleaje, perdiendo la totalidad de los nidos, y optando en ocasiones por buscar otras playas (Bolongaro Crevenna *et al.*, 2010).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Las estructuras que serán instaladas, podrían representar una barrera para las hembras en su paso hacia las áreas de anidación y en su regreso a mar abierto. De acuerdo con Bolongaro Crevenna *et al.*, (2010) la presencia de infraestructura antropogénica (espigones y tetrápodos perpendiculares y paralelos a la costa respectivamente) afecta la anidación de las tortugas marinas al encontrarse un menor número de anidaciones en los sitios de playa con la presencia de esta infraestructura, pues se presenta un desplazamiento de las hembras a otras zonas para evitar las estructuras. Esto sucede posiblemente a que estas obras marítimas obligan a estas especies a recorrer grandes trechos paralelos a la costa o finalmente regresar al mar y anidar en sitios menos aptos en otros tramos más alejados de playa por el bloqueo del acceso para arribar a la playa, causando que estas aniden en otros sitios menos aptos para realizarlo y posiblemente con una menor probabilidad de sobrevivencia (Márquez 1996, Bolongaro Crevenna, 2010).

Los arrecifes artificiales podrían representar una barrera, no obstante, se trata de estructuras que tendrán una separación entre cada una de ellas permitiendo el paso de los organismos. Las estructuras que se encuentran al sur tendrán alrededor de 140 m de distancia entre ellas y éstas entre la estructura del sur de 620 m, por lo que esta discontinuidad permitirá el paso de los organismos. Aunado a esto como se señaló previamente, la cantidad de anidaciones es muy baja pues la playa frente al hotel asociado al proyecto no se considera una zona de alta densidad de nidos ni en el estado ni dentro del SAR.

En otras playas con arrecifes artificiales segmentados a base de tubos de geotextil rellenos con arena en el área marina, el crecimiento de la playa se ha visto favorecido ya que estas estructuras generan zonas de calma relativa que permiten que el material vertido no se pierda, como en el caso del Hotel Bahía Príncipe Tulum o el Hotel Luxury Bahía Akumal con la presencia de geotubos y en cuya playa la anidación de tortugas en las fechas del inicio del proyecto en el año 2000 registró un número menor a 100 nidos de tortugas. Para el año 2015 se reportó un incremento en la cantidad de nidadas; con el registro más alto de los últimos 20 años: 1,864 nidos protegidos con 146,096 crías liberadas (Nota tomada de la Fundación Ecológica Akumal para el año 2015, <https://sipse.com>) Esto muestra que en esta zona los quelonios pueden evadir o cruzar las estructuras como lo arrecifes artificiales.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Tomando en consideración lo antes señalado, se determinó la magnitud de los impactos BMro6 y BMro9 sobre la tortuga marina como baja (0.4). Con la finalidad de observar que no exista algún efecto negativo en las tortugas por la instalación de los arrecifes artificiales, se seguirá llevando al cabo el registro de anidación de tortugas como complemento del **Programa de Manejo de Tortuga El Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo** que actualmente se realiza en el hotel (Anexo V.3) y se continuarán con las medidas de protección que se realizan hacia estos reptiles. El análisis de la anidación de tortugas y eclosión de crías será presentado como parte de los informes.

Otro impacto que podría generarse durante la construcción de los arrecifes artificiales es la afectación de las zonas de alimentación de las tortugas marinas (pastos marinos, que también sirven de refugio para otras especies), por la resuspensión de sedimento (BMro7,  $I_{std}=0.66$ ), ya que dentro del SAR se identificó pastizal mixto ocupando un área de 42.67 ha. La magnitud de este impacto se determinó considerando el tipo de sedimento presente en la zona de afectación directa por la construcción de los arrecifes artificiales y las corrientes predominantes. De acuerdo con el diseño de las estructuras y la caracterización del ambiente marino, las estructuras del sur (2, 3 y 4) se localizarán en un ambiente de laja con algas. Éste se caracteriza por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición, mientras que la estructura del norte (1) ocupará un ambiente de laja con sedimentos y algas que presentan una capa de sedimento de no más de 5 cm. El sedimento encontrado en la zona es de fácil resuspensión con alto contenido de carbonato (95.90%, Carranza- Edwards et. al., 2015). De acuerdo con las corrientes del sitio la pluma de dispersión tendería a dirigirse hacia el norte en donde se encuentran pastizales y laja con algas, no obstante, la pluma de sedimento será muy baja dada la cantidad de sedimento en el área de afectación y en zonas aledañas por lo que la magnitud se determinó como muy baja (0.2). Para evitar que el sedimento resuspendido se disperse a otras zonas e impacte en la biota, se colocará una malla geotextil, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez. Para determinar esto, se llevará a cabo la observación de la turbidez del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

con el fin de verificar que la calidad del agua presente las mismas condiciones a las iniciales respecto a la turbidez.

Como se señaló antes, en la playa el arribo de tortugas es escaso, por lo que el número de crías que eclosionan en el sitio es asimismo muy bajo (de 137 a 337 crías/temporada en promedio para las especies de tortuga que arriban a la zona). No obstante, estas estructuras podrían generar efectos en las crías recién eclosionadas en su viaje hacia mar abierto, pues representarían barreras en su nado ocasionando que cambien de dirección en busca de paso libre, incrementando con ello, el tiempo en aguas someras lo que a su vez incrementa la probabilidad de ser depredadas y no tener éxito para alcanzar mar abierto ( $BM_{ro10}$ ,  $I_{std}=0.88$ ).

El sistema de orientación de las crías debe ser capaz de dirigir las desde cualquier tipo de playa hacia mar abierto. Las crías emplean dos sistemas independientes de orientación de manera secuencial usando diferentes señales. En tierra buscan alejarse de zonas iluminadas y dirigirse a horizontes amplios. Cuando el contacto visual con la tierra es perdido, las crías mantienen su orientación en el mar a un ángulo fijo relativo a las olas (Lohman y Wykenen 1990) y después al campo magnético (el vector de dirección es determinado durante su paso por la playa a través de la elevación del horizonte y las olas de aguas someras refractadas por lo que se alejan de siluetas elevadas y nadan hacia las olas cercanas a la playa) (Salmo y Weneken, 1994, Fuxjager, *et al.* 2011). La dirección de la propagación de las olas son señales de orientación a mar abierto para las crías y nadan hacia ellas más allá de 18 km siendo capaces de cambiar la dirección para rodear obstáculos pequeños (Lohman y Wykenen 1990). Encontrarse con obstáculos como los arrecifes artificiales podría incrementar el tiempo de nado en aguas someras en su búsqueda de paso libre hacia mar abierto, incrementando su tasa de mortalidad (5% cada 15 min) si permanecen mucho tiempo en aguas someras ( $3 \pm 1.1$  m) (Whelan y Wyneken 2007). Sin embargo, se observa mayor depredación en zonas someras con sustratos duros naturales que sobre arena, mientras que en arrecifes artificiales sumergidos no hay depredación (Glenn 1996). La depredación disminuye una vez que están a profundidades mayores a 10 m. Una vez en el agua la circulación del agua y el nado de las crías controlan la dispersión de los mismos. Al tocar el mar se orientan perpendicularmente hacia las olas y su dispersión está determinada por los patrones de circulación para reducir el riesgo de depredación



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

y mantenimiento de energía (Hamanna *et al.*, 2011). Dadas las características del oleaje en el SAR, las crías en su nado al mar podrían encontrarse con los arrecifes artificiales, sin embargo, estas estructuras contarán con espaciamiento entre ellas lo que podría disminuir el efecto en las crías, aunado a que no se trata de una playa registrada entre aquellas de alta anidación y a que la playa frente a donde se localizarán los arrecifes artificiales no se ubica en la región de presencia de anidación para las tortugas. Considerando lo antes expuesto la magnitud de este impacto será baja (0.4).

Por otro lado, también se ha observado que olas grandes y corrientes oceánicas frecuentemente impiden a las crías en su nado inicial, escapar a mar abierto (Whelan y Wyneken, 2007). Tomando en consideración lo anterior, la instalación de las estructuras en esta zona tiene como objetivo disipar la fuerza de las olas que ingresan a la playa para reducir la erosión que existe en el área y con ello el retroceso de la línea de costa que se ha observado a lo largo de los años. Esta disipación de energía de las olas podría favorecer el nado de las crías hacia mar abierto al disminuir la fuerza de las olas y no su dirección como se muestra en el informe técnico para la regeneración de la playa (Anexo II.1), la cual como se mencionó anteriormente es importante para la orientación de las crías. Considerando la información antes expuesta, la magnitud se determinó como baja (0.4)

Con el fin de reducir al máximo el riesgo hacia las crías, de encontrarse nidos en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, éstos serán reubicados en la zona de playa que no se encuentre protegida por las estructuras en la zona preferencial de anidamiento (entre la escollera de la marina el Cid y Punta Brava). Los nidos serán marcados y protegidos hasta la eclosión de las crías. Estas acciones formarán parte del **Programa de Manejo de Tortuga El Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo**, que el hotel lleva a cabo actualmente.

Además del efecto potencial sobre las tortugas marinas, en el SAR, en el área se distribuye *Lobatus gigas* (caracol rosado). Dado que estos organismos tienen patrones de migración vertical de acuerdo a su etapa de desarrollo, la presencia de las estructuras podría impedir su libre desplazamiento (BMro11, Istd=83). La magnitud de este impacto sobre las poblaciones de esta especie se determinó



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

como muy baja (0.2) con base en la importancia de la zona para las especies, así como su biología y ecología, el área que será afectada por la instalación de los arrecifes artificiales y el efecto que los arrecifes artificiales causarán en la dinámica del sitio. La magnitud de este impacto sobre la especie será determinada de acuerdo a la ecología y biología de estos animales, la importancia de la zona para estas especies y el cambio que podrían ocasionar los arrecifes artificiales en la dinámica del sitio.

*Lobatus gigas* (caracol rosado) no se encuentra citada en la NOM-059- SEMARNAT-2010, sin embargo, la captura extensa de esta especie ha ocasionado la disminución de sus poblaciones situándolo en niveles críticos.

*L. gigas*, se encuentra en un rango de profundidad que va desde zonas muy someras (menos de 2 m, Alcolado 1976) hasta 73 m de profundidad (Rodríguez-Sevilla *et al.*, 2009) aunque usualmente se encuentran a 30 m (Prent, 2009). Existe además una distribución de los organismos respecto a la profundidad, observándose que los juveniles se encuentran en zonas someras (< 3.0 m. 2 m y de 0.30 m son zonas mejores para los juveniles) (Alcolado 1976) mientras que los adultos pueden ubicarse a mayor profundidad (desde 6 hasta 60 m y hasta 73 m, Rodríguez- Sevilla *et al.*, 2009). Sin embargo, la presencia del caracol está limitada a la zona fótica ya que ahí encuentra su alimento (Alcolado 1976; De Jesús Navarrete 1999).

Se ha observado que el caracol rosa realiza diversas migraciones describiéndose por lo menos dos: Migración de juveniles entre 50-100 mm (Stoner *et al.*, 1988; De Jesús-Navarrete y Valencia-Beltrán, 2003; Danylchuck *et al.* 2003) y migraciones de organismos adultos (Robertson 1959; Alcolado 1976; Hesse 1979; Appeldoorn 1997). La última asociada a la reproducción y se piensa que es de naturaleza estacional (Appeldoorn 1997) e influenciada por la granulometría del sedimento, (*L. gigas* prefiere un diámetro de partículas de arenas medias para el desove) y no solo por la batimetría (Aldana 2006). También se ha reportado la movilidad de *L. gigas* asociada a la alimentación y a la temperatura como factores que inducen un mayor desplazamiento en la especie (Orr y Berg 1987; Noguez Núñez y Aldana Aranda 2014). Stoner (2003), menciona que la reproducción ocurre principalmente en profundidades mayores a 10 m sobre arenales.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Alcolado (1976) detectó que la distribución de caracoles juveniles de *L. gigas* normalmente es confinada a los criaderos, mientras los adultos tienen una distribución más amplia. Hesse (1979) señaló diferencias significativas en el rango hogareño del caracol rosa en función de la talla, determinando un rango de 1,000 m<sup>2</sup> para organismos con tallas de 100-130 mm y de 2,500-5,000 m<sup>2</sup> para organismos con tallas entre 130-160 mm. En su estudio no fue posible determinar el rango hogareño para organismos con tallas mayores a 170 mm, dado que éstos utilizan áreas muy extensas, mayores a 5,000 m<sup>2</sup>. Por el método de rastreo con telemetría acústica Glazer *et al.* (2003) determinaron que el rango hogareño de caracoles adultos es en promedio de 59,800 m<sup>2</sup>. Bissada-Gooding *et al.* (2010) determinaron por telemetría acústica y marcaje tradicional que los adultos en promedio utilizaban un área de 11,031 m<sup>2</sup>, pero algunos usan extensiones de 21,255 m<sup>2</sup>, mientras Doerr y Hill (2013) determinaron un rango hogareño de los adultos de 65,045 m<sup>2</sup>, mostrando la tasa más alta de movimiento de 11.36 m/día, aunque se ha visto que pueden desplazarse más (50 a 100 m por día) (Theile 2001, Doerr y Hill 2003). Con esto se observa que los organismos amplían su rango de distribución conforme crecen. Los organismos realizan transiciones en su hábitat, que dependen de su talla. Se pudo observar que la movilidad aumenta significativamente en organismos adultos, existiendo una relación entre la talla y movilidad ontogénica, estableciendo la conectividad espacial y estacional entre juveniles y adultos (Peel 2012).

La información antes referida, muestra que, si bien los juveniles tienden a cubrir distancias menores y que se ubican en zonas más someras que los adultos, éstos en su crecimiento y como adultos pueden desplazarse grandes distancias ya sea por alimento o por reproducción. Los arrecifes artificiales, al ser elementos lineales que serán colocados casi paralelos a la costa podrían representar barreras para estos organismos. No obstante, estos arrecifes artificiales no serán continuos contando con una separación entre ellos de aproximadamente 140 m en los arrecifes artificiales del sur y entre éstos y el del norte de 620 m, distancias en las que estas especies pueden desplazarse para alcanzar zonas de alimento o reproducción, pues estos caracoles tienen un ámbito natural de varios kilómetros (Hesse 1979). Además, los juveniles pequeños de *L. gigas* pueden trepar en superficies verticales de concreto (Hesse, 1980), lo que también podría ayudarlos a sortear estas



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

estructuras. Es relevante añadir que en el estudio de caracterización marina se encontraron ejemplares de *L. gigas* en actividad reproductiva en el ambiente de laja con sedimentos y algas que se encuentra en un rango de profundidad de 5 a 8 m, el cual no será impactado por las estructuras, ni otras zonas importantes para la especie, como pastizales o arenales, por lo que el caracol rosado tampoco será afectado de esta manera.

La pesca de caracol rosado reinició en el año 2017, tras una veda decretada de cinco años que tuvo como propósito la recuperación natural del recurso. A partir de este año (2018) se encuentra en veda en dos periodos: todo el mes de febrero y del 1 de mayo al 30 de noviembre, aplicando en Banco Chinchorro y desde punta Herrero hasta Majahual y Bacalar el chico en los límites con Belice (DOF: 19/07/2017). Desde ese tiempo y actualmente se han detectado como áreas importantes para esta especie las zonas antes mencionadas especialmente banco Chinchorro (Rodríguez Duarte y Velázquez-Abunader, 2016; De Jesús-Navarrete 1999, Stoner *et al.*, 1997) así como la punta norte de la Isla Cozumel en el área de protección de flora y fauna, Caleta de Xel-Ha (Alcolado 1976) y el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, especialmente en la parte norte de la laguna (Chávez Villegas *et al.*, 2012; Chávez Villegas *et al.*, 2014). Considerando esta información cabe mencionar que la zona del proyecto no se ubica directamente en ninguna de estas zonas de importancia para la reproducción y reclutamiento de *L. gigas*, por lo que el impacto en esta especie será menor.

Un efecto indirecto que podría ocasionarse por la instalación de los arrecifes artificiales podría presentarse en el reclutamiento, ya que para esta especie de gasterópodo (*L. gigas*) la hidrodinámica y patrones de corrientes marinas, remolinos y giros favorecen el transporte y dispersión de sus larvas (geiawf. semarnat. gob. mx.). Corral y Ogawa (1987) señalaron que en las costas mexicanas la reproducción es continua lo que se reflejaría en un patrón constante de reclutamiento, aunque en la zona de Quintana Roo, se encontró que en julio el reclutamiento fue nulo y que el primer período importante es de noviembre a febrero, sobreponiéndose con el segundo pico, que es el de mayor intensidad y se presenta de enero a mayo (De Jesús-Navarrete *et al.*, 2000).





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

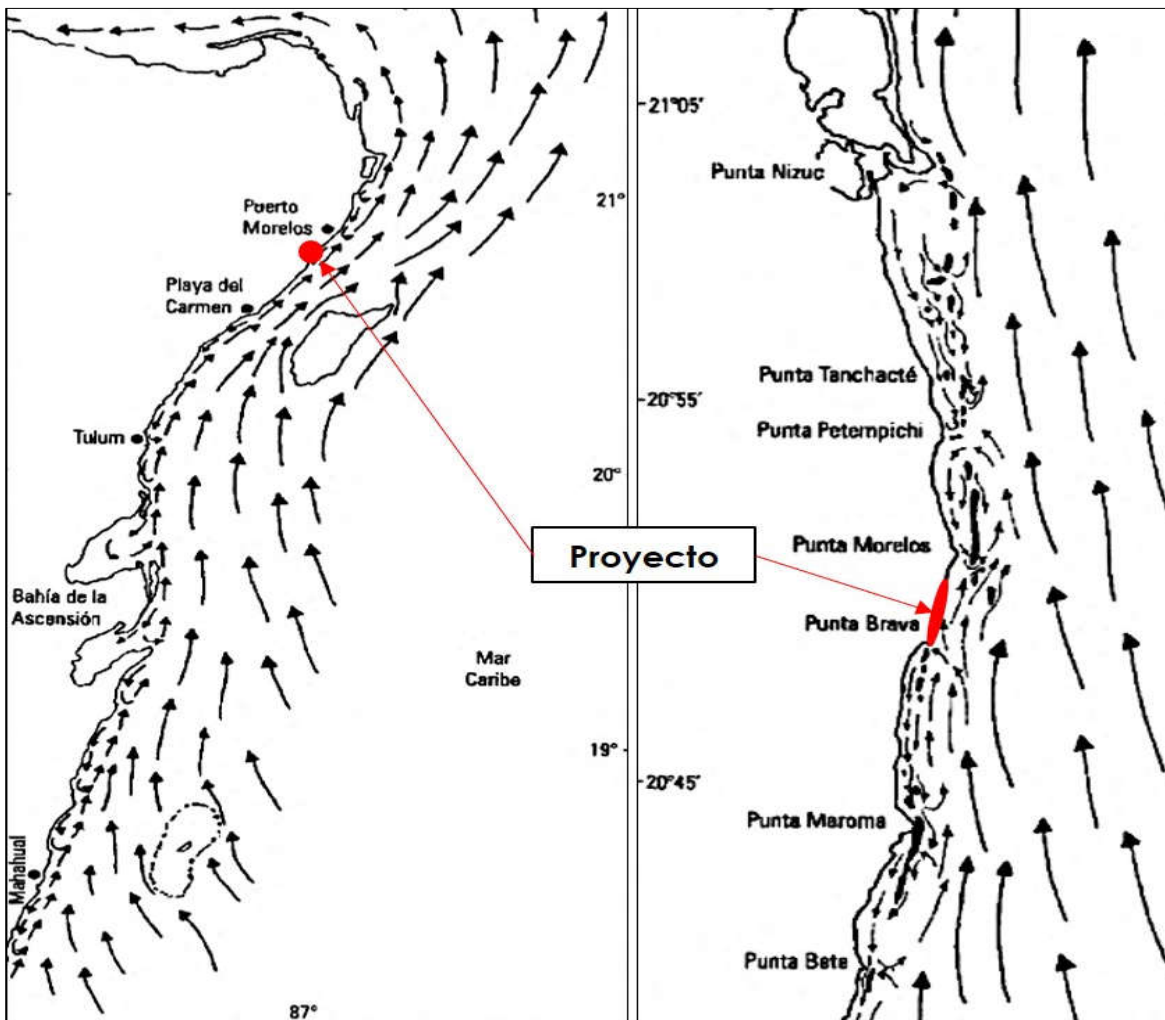
La distribución de *L. gigas* en su fase larvaria está regida por las corrientes superficiales pues existe dependencia del flujo larval en el Caribe, pudiendo la larva de *L. gigas* ser transportada desde sitios ubicados en Belice y México hasta Florida al presentarse corrientes de 0.8 m/s (De Jesús Navarrete 1999). La distribución y abundancia de las larvas depende de la estación del año (Chávez-Villegas *et al.*, 2009) observándose las mayores abundancias en la estación de lluvias en Junio (Aldana-Aranday Pérez-Pérez, 2007) y Agosto (De Jesús-Navarrete, 2001; Aldana-Aranda y Pérez-Pérez 2007). Las corrientes han sido descritas como factor de dispersión y transporte de las larvas (Mitton *et al.*, 1989; Stoner, *et al.* 1996; Stoner, 2003). Se piensa que las larvas se concentran sobre los principales ejes de los corrientes, creando los sitios de alta abundancia de juveniles habiendo una relación directa entre larvas competentes y el tamaño de las poblaciones de los juveniles (Stoner 2003). Dada la extensa fase planctónica (15-22 días), las larvas pueden ser transportadas por distancias considerable, hasta 900 km (Davis *et al.*, 1993, Peel 2012).

De acuerdo con algunos estudios (Pérez Pérez 2004, Bravo Castro 2009; Chávez Villegas *et al.*, 2012; Chávez Villegas *et al.*, 2014), Puerto Morelos en un área de alta densidad de larvas de *L. gigas*, específicamente, se sabe que en el parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos las larvas presentan alta concentración, siendo un sitio potencial de reclutamiento para esta especie y gracias a ello se considera que el Caribe Mexicano puede suministrar larvas a las poblaciones de *L. gigas* especialmente las áreas situadas en la zona norte ya que actúan como fuente de larvas de gasterópodos, siendo sitios importantes para preservar la diversidad larval en la región (Chávez Villegas *et al.*, 2014). La mayor presencia y diversidad de larvas en el norte del caribe mexicano (Puerto Morelos) podría atribuirse al efecto ascendente de las corrientes por el canal de Yucatán, sin embargo, Mariño Tapia *et al.* (2011) señalan un fuerte flujo de corrientes internas en la laguna de Puerto Morelos, lo cual se traduce en una circulación interna de nutrientes y larvas. Asimismo, Coronado *et al.* (2007) mencionan que la tasa de intercambio entre la laguna y el océano es baja, lo cual sugiere que los organismos encontrados en la región provienen de la población de adultos de la localidad. En el Caribe se ha registrado un patrón de circulación de sur a norte con deriva hacia el oeste (Kinder 1983, Carrillo González *et al.* 2007), presentándose velocidades de 0.70 m/s a 2.72 m/s para el caribe mexicano, así como un incremento de hasta el



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

doble en el Canal de Yucatán. Sin embargo, para la zona norte del caribe mexicano se ha determinado un mayor efecto de los vientos en las masas de agua (Merino Ibarra, 1986) provocándose un fenómeno de contracorriente, así, para Puerto Morelos se ha reportado la presencia de giros los cuales producen circulación interna en la laguna arrecifal, así como transporte hacia la costa y mayor tiempo de residencia del agua (Coronado *et al.*, 2007) como se observa en la siguiente figura.



**Figura 5.** Comportamiento de las corrientes costeras considerando la posición de los arrecifes. Tomado de Suarez Morales, E. y Rivera Arriaga, E. (1998).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Con esto, se asume que los sitios estudiados en el caribe mexicano, especialmente los situados en la zona norte de la laguna actúan como fuente de larvas de gasterópodos, siendo sitios importantes para preservar la diversidad larval en la región (Chávez Villegas *et al.*, 2014).

Con base en la información presentada anteriormente, podría ocasionarse un efecto adverso en el reclutamiento de *L. gigas* de modificarse la circulación del SAR y de la Laguna Arrecifal, ya que como se mencionó anteriormente la distribución de larvas y con ellos de juveniles está ligada a la circulación de las corrientes y Puerto Morelos puede ser una fuente de larvas a otras regiones. No obstante, con base en el estudio de Caracterización oceanográfica y de Dinámica Litoral (Anexos II.1 y II.1.2) en donde se modeló el comportamiento de las corrientes, es posible afirmar que la circulación que se presenta en la zona y específicamente en la laguna de Puerto Morelos en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos no será modificada por la instalación de los arrecifes artificiales ya que el efecto de éstos se limitará únicamente al área en el cual serán dispuestos. Su función será únicamente la dispersión de energía de las olas que ingresan a la playa frente al hotel asociado al proyecto, por lo que no se presentará un efecto en la dispersión de larvas de esta especie y no se impactará con ello a las poblaciones locales que sirven de suministro a otras áreas.

La instalación de los arrecifes artificiales no sólo podría significar un obstáculo para la tortuga sino también para otras especies que habitan la zona al representar barreras artificiales, sin embargo, como se ha mencionado, los arrecifes artificiales no serán continuos pues tendrán una separación de 140 m aprox. entre los tres de la zona sur y de 620 m aprox. entre éstos y el de la zona norte, permitiendo así el paso de la biota. Además de esto, el efecto de barrera local será minimizado en periodos de pleamar dando así oportunidad al necton a moverse hacia otras zonas. Cabe mencionar que el área que ocuparán los arrecifes artificiales representa el 0.15 % del área total del SAR, lo que representa un área muy pequeña y que, si bien los procesos marinos no son lineales, el efecto será local al disipar la energía, lo que además traerá consigo beneficios para la recuperación de la playa. Si bien en la zona de estudio se encuentran algunas especies de peces, el efecto en ellos no será grave dado que son organismos que pueden desplazarse con facilidad, además de no encontrarse especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-



2010. Por lo antes enunciado la magnitud sobre estas especies se determinó como muy baja (0.2).

### Factor ambiental: DINÁMICA COSTERA

Las estructuras que se instalarán para ayudar a conservar la playa, representan barreras artificiales que ocasionan cambios en la dinámica costera. Uno de los impactos asociados a estas estructuras es la modificación del transporte litoral (DCro1, DCro2,  $I_{std}=0.72$ ) lo que implica un cambio en el aporte de sedimentos a la playa y con ello la morfología del perfil de la misma pues el balance de aporte y transporte de sedimentos se altera, ya que una de las funciones de estos arrecifes artificiales es minimizar la velocidad de las olas que inciden en el área para ayudar a su recuperación.

**Tabla 15.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados por las estructuras de protección en el factor ambiental: DINÁMICA COSTERA

Factor ambiental: Dinámica costera															
Operación y mantenimiento															
<b>DCro1.</b> Modificación del transporte litoral por la presencia de las estructuras pues éstas incidirán en la velocidad del oleaje y con ello de los sedimentos que acarrearán en su trayectoria natural.															
<b>Atributos</b>											<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>Valor de juicio</b>
<b>Signo</b>	<b>I</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>Rv</b>	<b>R</b>	<b>Pd</b>	<b>C</b>		<b>I</b>	<b>Istd</b>	<b>M</b>	<b>Istd*M</b>	
(-)	3	1	2	3	3	3	3	1	3		22	0.72	0.2	0.14	Cm
<b>DCro2.</b> Alteración del perfil de playa por la presencia de las estructuras pues éstas incidirán en la velocidad del oleaje y con ello de los sedimentos que acarrearán en su trayectoria natural.															
<b>Atributos</b>											<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>Valor de juicio</b>
<b>Signo</b>	<b>I</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>Rv</b>	<b>R</b>	<b>Pd</b>	<b>C</b>		<b>I</b>	<b>Istd</b>	<b>M</b>	<b>Istd*M</b>	
(-)	3	1	2	3	3	3	3	1	3		22	0.72	0.2	0.14	Cm



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

La magnitud de estos impactos se determinó como muy baja (0.2) considerando las condiciones actuales de la playa y los efectos que los arrecifes artificiales tendrán en esta zona, con base en la siguiente información.

En Puerto Morelos, se encontró que, en gran parte de esta costa, el proceso de erosión es el predominante y sólo en un par de sitios los procesos se consideraron como en una etapa intermedia (Ruiz-Martínez et al., 2013). Esto es reforzado con el estudio llevado a cabo en esta zona (Anexo II.1) en el que se realizó un análisis de las características que presenta la playa actualmente y los cambios que ha sufrido desde el año 2004 hasta el año 2017 mostrando que se trata de una zona que presenta tasas de erosión en torno a 0.5 m/año y un movimiento neto de retroceso de la línea de costa de 10 m en promedio, con valores máximos de 20 m en las zonas de los espigones. La instalación de grandes áreas con infraestructura en la costa no le permite a la playa recuperarse de manera natural por lo que se está perdiendo la playa como sucede en otras áreas de Quintana Roo.

En el caso de la Riviera Maya y de otros lugares como Cancún se ha provocado que la costa cambie de manera gradual sus estados de equilibrio natural; es por ello que los procesos y fenómenos físicos de las playas responden de manera diferente a lo deseado, lo cual implica una serie de modificaciones que pueden llegar a considerarse como adversas tanto en términos ambientales como sociales y económicos (Ruiz-Martínez et al., 2013).

Más allá de los procesos físicos y geológicos que modifican de forma instantánea o gradual el comportamiento de un sistema litoral, actividades antropogénicas tales como la extracción de arena, petróleo, gas, y el establecimiento de asentamientos humanos o desarrollos turísticos tienden a acrecentar de una manera negativa la recuperación natural que posee una playa (disminución de su resiliencia), puesto que en la mayoría de los casos se alteran las fuentes de abastecimiento natural de sedimento (e. g. dunas, barras, etcétera), las cuales se consideran como elementos de retroalimentación de las costas (Ruiz-Martínez et al., 2013).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Tomando en consideración los estudios realizados e incluidos en la Propuesta de Regeneración de La Playa Colindante Al Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort, (Anexos II.1 y II.1.2) donde se realizó la modelación de la dinámica de la circulación dentro del SAR se observa que el efecto que tendrán los arrecifes artificiales será la disipación de la energía de las olas únicamente en el área en la que estarán colocados sin afectar la circulación dentro del celda litoral que compone el SAR, por lo que el sedimento podrá mantenerse en el sitio ayudando a la recuperación de la playa y si bien el perfil será modificado, éste se espera recupere el área perdida. Además, el agua podrá seguir circulando y con ello el transporte litoral continuará ya que se trata de estructuras separadas entre sí. Los resultados obtenidos en esta modelación son corroborados con estudios previos en otras zonas. De acuerdo con Aminti y Billi (1984), las características del sedimento en las playas protegidas por los arrecifes artificiales, es de la misma calidad del sedimento que prevalece en playas sin este tipo de protecciones. Kubowicz-Grajewska (2015) menciona que los arrecifes artificiales sumergidos tienen un impacto menor en la modificación de la morfología y litodinámica de la costa, limitándose estos cambios a los alrededores inmediatos de la construcción y calificando a los impactos generados por los arrecifes artificiales como neutros. Por lo antes expuesto la magnitud se definió como muy baja para los impactos ocasionados en el transporte litoral y en el perfil de playa, ya que la instalación de estas estructuras ayudará a la recuperación de la playa al disipar la energía del oleaje sin obstaculizar el transporte litoral y si bien se incrementará el ancho, el perfil de playa será similar al que presentaba la zona antes de la pérdida causada por la erosión.

Respecto a la respuesta que la playa puede presentar ante la instalación de las estructuras de protección, se sabe que la reducción de oleaje en el área protegida por estas estructuras provoca importantes alteraciones en el transporte litoral de sedimentos e induce la deposición de materiales y su acumulación en dicha zona a resguardo de la estructura. Dependiendo de la cantidad de sedimentos captados y depositados en esta zona, los cambios que experimenta la línea de costa son más o menos acusados; así, la respuesta de la costa puede clasificarse en: tómbolo, saliente o hemitómbolo (Suarez Bores 1978) y punta de arena, si el efecto es limitado o prácticamente nulo. El tipo de respuesta depende, básicamente, de la cantidad de energía que penetra en el área en sombra.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Los efectos producidos en la costa por una estructura paralela a ésta están condicionados por un gran número de factores que se pueden clasificar conforme a su naturaleza: parámetros relativos al clima marítimo local o al oleaje, que es el agente actuante (altura de ola, periodo y dirección), parámetros relacionados con la estructura (sus características geométricas –distancia del dique a la línea de costa, longitud, cota de coronación y estructurales–permeabilidad), y aspectos concernientes al material sedimentario (transporte real de sedimentos y características sedimentológicas –densidad y diámetro medio nominal) (Bricio et al. 2008, Tunji et al. 2012, Van Rijn 2013, Lardelli García 2014). Es importante mencionar que los cuatro arrecifes artificiales que se proponen instalar fueron diseñados por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con base en las condiciones e hidrodinámica del sitio obteniendo así el mejor diseño (altura, ancho, longitud) y posición para lograr la recuperación de la playa. De acuerdo con el estudio técnico para la regeneración de la playa (Anexo II.1 y II.4) no se originarán tómbolos detrás de los AA. Es probable que se formen pequeñas salientes por la acumulación de la arena en el sitio de protección de los arrecifes y la paulatina recuperación del ancho de playa como se muestra dicho informe. Estas salientes no tendrán contacto con los arrecifes artificiales por lo que el flujo del agua podrá mantenerse y no habrá obstáculos que ocasionen el estancamiento del agua y con ello también de sedimento. La formación de estas nuevas unidades morfológicas modificará a medio-largo plazo la escena preoperacional del litoral, aumentando sustancialmente la potencia de los cordones arenosos litorales (Ministerio del Medio Ambiente 2008) y ayudando con ello a la recuperación del ancho de la playa. Es por lo antes expuesto que no se llevó a cabo la valoración de la formación de tómbolos.

### **Factor ambiental: Paisaje**

Con la instalación de las estructuras el paisaje será modificado, lo cual será un impacto permanente ( $Pro1, I_{std}=0.78$ ). Sin embargo, es importante señalar que la zona en la que se pretende llevar a cabo el proyecto y el SAR se encuentran previamente impactados por actividades turísticas en donde se realizan actividades acuáticas, además de la presencia de la marina y el muelle fiscal construidos en años anteriores y funcionando actualmente. Aunado a esto, las estructuras respecto al nivel medio del mar por lo que podrán ser observadas



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

durante sólo en los periodos de marea baja. Considerando lo anterior y el porcentaje de área afectada por las estructuras respecto al SAR (0.15 %), la magnitud se determinó como muy baja (0.2).

**Tabla 16.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados por las estructuras de protección en el factor ambiental: PAISAJE

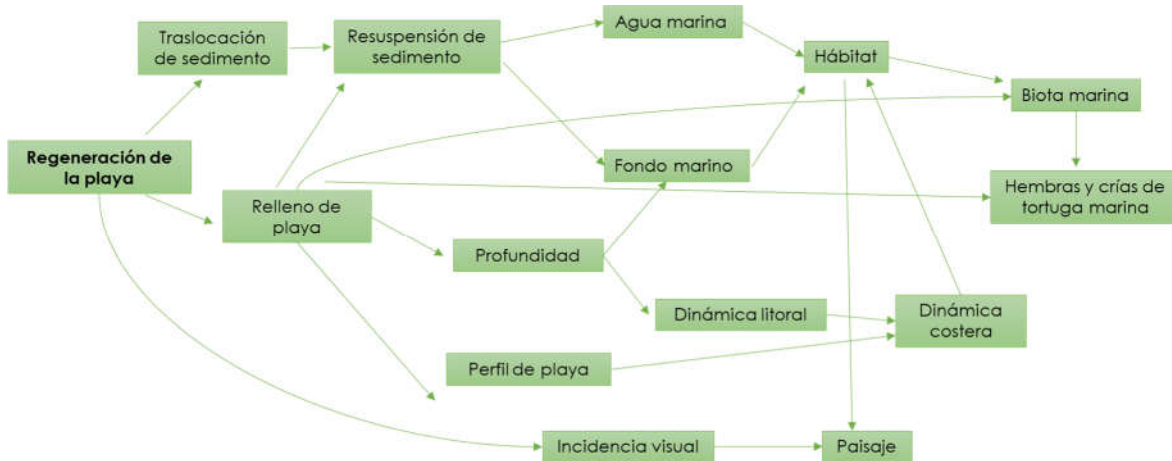
Factor ambiental: Paisaje															
Operacion y mantenimiento															
Pro1. Alteración de la incidencia visual en el paisaje de la zona debido a la presencia de estructuras artificiales.															
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C						
(-)	3	3	1	3	3	3	3	1	3		23	0.78	0.2	0.16	Cm

### ELEMENTO: REGENERACIÓN DE LA PLAYA

#### Grafo de relación causa–efecto.

Las redes de interacción son una técnica muy útil en la primera aproximación a las afectaciones potenciales que un proyecto puede ocasionar en el o los ecosistemas, por lo que considerando las obras y actividades que el proyecto contempla en su desarrollo y las características ambientales del SAR, se generó el grafo de relación causa-efecto respecto a las las acciones que llevarán a cabo en la regeneración de la playa.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 6.** Grafo de relación causa-efecto de la regeneración de la playa.

La regeneración de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, involucra la traslocación de sedimento y la distribución de éste en la playa, para reincorporar el sedimento perdido. Cada elemento implica impactos al medio ambiente.

La obtención de sedimento involucra el uso de una bomba de succión y tubería que, desde el punto de extracción hasta la zona de alimentación, será flotante. Esto incidirá de manera directa en la biota que se encuentre habitando la zona de extracción pues será dañada por la succión y al fondo marino al disminuir la cantidad de sedimento de manera local y con ello incrementar la profundidad de la zona. Además, en esta área se ocasionará la resuspensión de sedimento en el punto de succión formando una pluma de dispersión cuya longitud y distancia recorrida dependerá de las corrientes del sitio y del tipo de sedimento. Esta pluma afectará la calidad del agua marina al incrementar la turbidez y con ello el hábitat de las especies afectando a aquellos individuos sobre los que el sedimento se precipite ocasionando su daño o muerte.

Posteriormente, el sedimento será conducido desde el punto de succión en los bancos de arena (zonas de acumulación) hasta la playa para ser depositado y distribuido en la zona. Por esto, en primera instancia, la biota será directamente afectada por el depósito de la arena siendo dañados o muertos los individuos de la biota bentónica sésil y vágil por enterramiento. Dado que el sedimento nuevo no



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

estará completamente estabilizado, éste será lavado por el oleaje ocasionando así, turbidez de agua en esa zona, alterando sus características físico-químicas y con ello a la biota que habita la zona por abrasión o sedimentación.

El incremento de sedimento en el área que se pretende llevar a cabo el relleno, ocasionará un cambio en el perfil de playa modificando la conformación actual, aunado al cambio de profundidad que disminuirá en ese sitio por el depósito de sedimento incidiendo así en la dinámica litoral de transporte de sedimento y con ello en la dinámica costera.

Las tortugas marinas arriban a las playas de Quintana Roo para poder anidar. Se ha visto que el tipo de playa y el sedimento en el que desovan son elementos importantes para que este proceso se realice. Es por esto que el relleno de la playa puede generar efectos en la anidación de las tortugas en el sitio, mientras se presenta la estabilización de la playa. De la misma forma la incubación y eclosión de las crías está ligada al tipo de sedimento y compactación de la playa, por lo que si no se toman en cuenta estos elementos importantes las crías podrían sufrir efectos importantes.

Con el relleno de playa que se pretende realizar, el paisaje será modificado pues la playa tendrá una mayor extensión a la que actualmente presenta cambiando así la percepción visual del sitio.

### **Acciones susceptibles de generar impactos y factores ambientales potencialmente afectados.**

Como parte de la ejecución de este proyecto se pretende la regeneración de la playa a través de la traslocación y disposición de sedimento en ésta, por lo que las acciones identificadas que pueden ocasionar impactos en el ambiente se muestran en la siguiente tabla.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 17.** Acciones que serán llevadas a cabo para la regeneración de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales y que pueden ocasionar impactos ambientales.

Traslación de sedimento	Relleno de playa
Uso de embarcación y maquinaria Succión y traslado de arena	Uso de maquinaria Distribución de arena en la zona

Los componentes ambientales que pueden sufrir algún efecto por la regeneración de la playa se muestran a continuación.

**Tabla 18.** Factores ambientales susceptibles de recibir un impacto ambiental por la regeneración de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales.

Factores ambientales susceptibles de sufrir un impacto ambiental.		
Ambiente Marino		
Medio	Factor	Subfactor
Abiótico	Agua marina	Calidad
	Fondo marino	Cantidad
	Dinámica costera	Perfil de playa
		Dinámica litoral
Biótico	Biota marina	Hábitat
		Cobertura (bentónica)
	Tortuga marina (hembras)	Zonas de anidación
		Zonas de alimentación (pastos marinos)
Perceptual	Paisaje	Incidencia visual
Socio-económico	Económico	Nivel de empleo
	Social	Recreación

Con lo antes señalado, se crearon los árboles de acciones y de factores ambientales, los cuales son mostrados a continuación para con ello generar la matriz de identificación de impactos.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

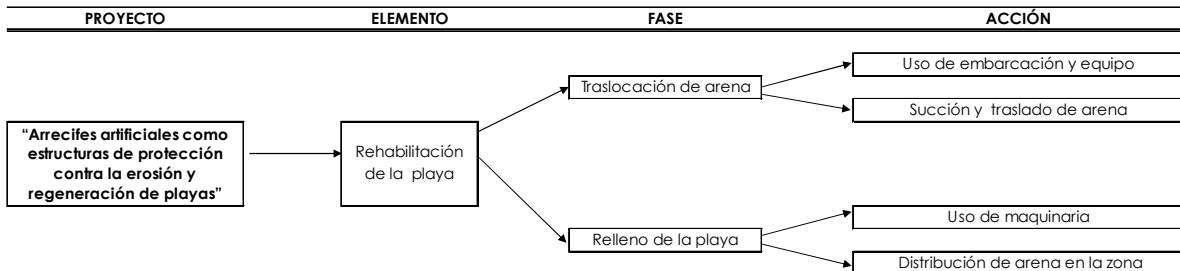


Figura 7. Árbol de acciones contempladas en la regeneración de la playa.

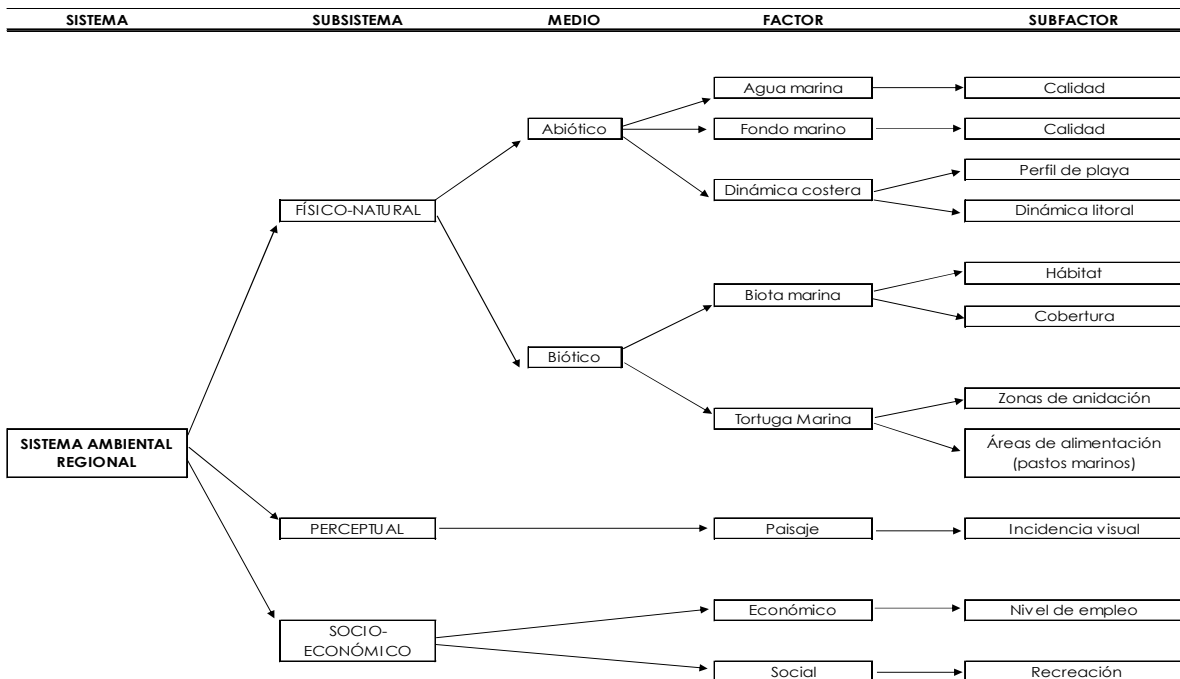


Figura 8. Árbol de factores ambientales susceptibles de recibir un impacto durante la recuperación de la playa.

### Matriz de interacción

A partir del análisis de la matriz de interacción se obtuvieron un total de 21 interacciones factor ambiental-acción del proyecto, de las cuales 17 serán perjudiciales y 4 benéficas. De las 17 interacciones perjudiciales, la mayoría se presentará durante distribución de la arena como se muestra en la siguiente figura.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

					Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas			
					Regeneración de la playa			
					Traslación de sedimento		Relleno de playa	
					Uso de embarcación y equipo	Succión y traslado de arena	Uso de maquinaria	Distribución de arena en la zona
Sistema	Subsistema	Medio	Factor	Subfactor				
SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL	FÍSICO-NATURAL	Abiótico marino	Agua	Calidad	X	X	X	X
			Fondo marino	Cantidad		X		X
				Calidad				X
			Dinámica costera	Perfil de playa				X
				Dinámica litoral				X
		Biótico marino	Biota marina	Hábitat		X		X
				Cobertura				X
			Tortuga marina	Zonas de anidación				
		Áreas de alimentación (pastos marinos)				X		X
		Perceptual	Paisaje	Incidencia visual				
	SOCIO-ECONOMICO	Socio-Económico	Económico	Nivel de empleo			X	X
			Social	Recreación			X	X

Figura 9. Matriz de interacción.

### Valoración de los impactos ambientales

Una vez determinadas las posibles interacciones entre los factores ambientales y las actividades involucradas en la ejecución de las obras, se identificaron las posibles afectaciones ambientales, las cuales serán presentadas a continuación de manera breve y su efecto sobre los componentes ambientales será valorado de acuerdo al grado de afectación del mismo a través de la importancia y magnitud, con base en la metodología descrita con anterioridad.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Los efectos potenciales serán valorados para cada factor ambiental considerado.

Con el fin de determinar la relevancia de los impactos identificados, se llevó a cabo el cálculo de los índices de incidencia ( $I_{std}$ ) y de magnitud ( $IM$ ), para determinar aquellos que serán significativos.

### **Cálculo del valor del impacto.**

#### **Índice de Incidencia ( $I_{std}$ ) y de Magnitud ( $IM$ ) por factor ambiental.**

Los índices de incidencia y magnitud, se calcularon de acuerdo a la metodología descrita previamente. Para ello los impactos se caracterizaron de acuerdo a los 10 atributos señalados con base en sus características. Posteriormente, se definieron los indicadores que pudieran reflejar la magnitud de éstos, medida en unidades heterogéneas. Los indicadores seleccionados fueron en la medida de lo posible cuantitativos. Cuando no fue posible, se llevó a cabo la valoración de la magnitud con la ayuda de indicadores cualitativos.

### **Fase: Traslocación de arena**

#### **Factor ambiental: Agua marina**

Para llevar a cabo la regeneración de la playa, como se mencionó en el capítulo II de este documento, la arena será obtenida de zonas de acumulación de arena (bancos de arena) descritos en el Capítulo II del presente estudio. La obtención de este sedimento se hará con el uso de una bomba sumergible de succión que contará con una rejilla que evitará la extracción de rocas y pasará a través de tubería flotante hacia la zona de playa que será rellenada. Con estas acciones podría afectarse la calidad del agua marina de existir alguna fuga o mal manejo en el sitio ocasionando un incremento en la turbidez del agua ( $AM_{ta1}$ ,  $I_{std}=0.5$ ).

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 19.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados por la obtención de arena para la regeneración de la playa en el factor ambiental: AGUA MARINA

Factor ambiental: Agua marina															
Traslocación de arena.															
AMta1. Alteración de las características físico-químicas del agua por resuspensión de sedimento en la zona de succión o posible fuga de arena de la tubería.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M		
(-)	3	3	2	3	1	2	2	1	1	18	0.5	0.6	0.33	M	
AMta2. Alteración de las características físico-químicas del agua por la generación de residuos por el personal o por la embarcación.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M		
(-)	3	3	2	3	1	3	2	1	1	19	0.55	0.2	0.12	Cm	

La magnitud de este impacto se determinó considerando el tipo de sedimento y la hidrodinámica del sitio. Durante las acciones de succión de arena, el sedimento puede ser liberado a la columna de agua durante la actividad o por fuga en la tubería creando una pluma de turbidez y alterando con ellos las características físico-químicas del agua. La extensión y duración de la pluma depende del volumen de sedimento movilizado, del tipo de equipo usado y de las condiciones hidrodinámicas del sitio. Los sedimentos finos pueden ser depositados a grandes distancias (ICES 1996; Hill *et al.*, 1999). La porción más densa del material liberado en la superficie, rápidamente desciende hacia el fondo, mientras que los sedimentos más finos más ligeros y menos densos descienden lentamente formando la pluma. Las corrientes desvían a los sedimentos en su descenso y favorecen su dispersión en el sentido de la corriente. Las estimaciones de dispersión del material basadas en los principios de dispersión Gaussiana sugieren que las partículas de arena muy fina pueden viajar hasta 11 km, arena fina hasta 5 km, arena media hasta 1 km y arena gruesa menos de 50 m (Newell *et al.* 1998) y hasta 20 km con sedimentos (menores a 0.063 mm) que permanecen en suspensión hasta



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

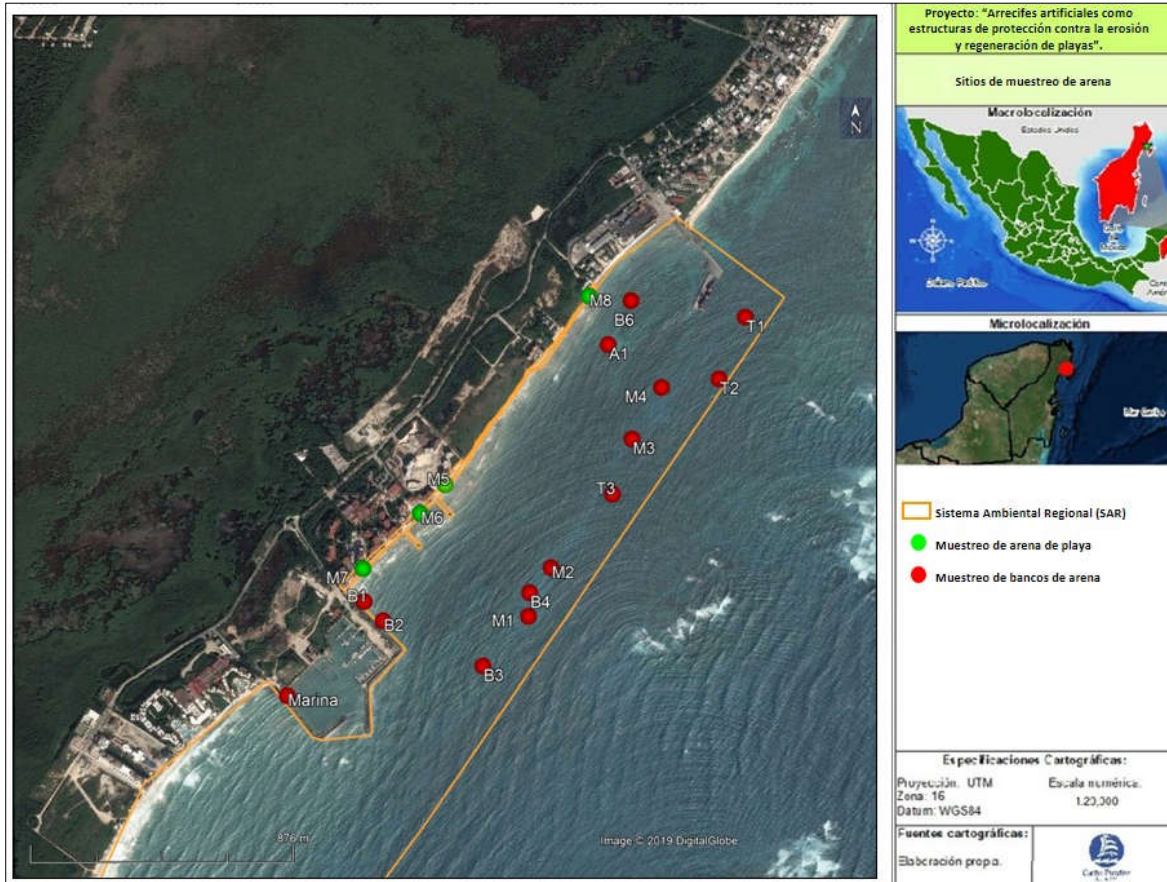
por 4 o 5 ciclos de marea (Newell *et al.*, 1998). Cuando las plumas están compuestas principalmente por sedimentos finos, puede variar de 1 a 4 km de distancia de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell 2004). El tiempo de suspensión puede variar de 30 min a 1 hora (Newell *et al.*, 1999). Sin embargo, estudios realizados sugieren que la sedimentación es rápida y confinada a la vecindad de la actividad (hasta 2 km en arenas y gravas) (Newell *et al.*, 1999).

De acuerdo con el análisis de sedimento realizado en el área (Anexo II.2, II.8), las zonas potenciales de donde podría obtenerse el sedimento: **zona de acumulación “A”** (B1, B2) y **zona de acumulación “G”** (B6, A1) presentan un tamaño de sedimento entre 0.14 a 0.65 mm lo que corresponde a arenas medias de acuerdo con la escala Wentworth (Wentworth, 1922, <https://geologia.unison.mx/>) y presentan un porcentaje de finos variable con la zona de la marina mostrando un porcentaje mayor al 50%, como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 20.** Parámetros del análisis granulométrico de las muestras de arena (Anexos II.2 y II.8).

Origen de muestra	Muestra	D50 (mm)	% Finos	$\mu'$
Zona de acumulación A	B1	0.43	0	1.81 ( $\mu'$ b)
	B2	0.14	0	4.33 ( $\mu'$ b)
Zona de acumulación G	B6	0.65	2	0.72 ( $\mu'$ b)
	A1	0.22	0.28	3.22 ( $\mu'$ b)

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 10.** Sitios de muestreo de arena.

Las **zonas de acumulación “A”** (B1, B2) y **“G”** (B6, A1) se tendrán como bancos preferenciales pues son los sitios que muestran un tipo de sedimento similar al de la playa receptora por lo que se trata de sitios en donde el sedimento que ha sido perdido por erosión en la playa se ha depositado debido al oleaje y corrientes. Con la succión, la pluma de dispersión tendería a moverse hacia el norte siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998), recorriendo una distancia probable de uno a dos km por ser arenas medias y mostrando una menor concentración hacia la mayor distancia según estudios realizados (Newell *et al.*, 1999) depositándose dentro de las primeras 72 horas por contener baja cantidad de sedimentos finos. Ante esto la magnitud se determinó como media (6). No obstante, para evitar cualquier afectación al agua, se colocará una malla geotextil para evitar la dispersión del sedimento más allá de la





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

zona de afectación directa y se llevará a cabo la observación de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones de traslocación de arena con el fin de observar cualquier cambio en la turbidez del agua. En el caso de la tubería utilizada, ésta será revisada previo a su uso para verificar que se encuentre en buen estado. Además, se contratará personal especializado en este tipo de acciones evitar afectaciones por un mal manejo. De detectarse alguna fuga se detendrán las acciones para reparar la tubería dañada fuera del área. En caso de tener algún efecto en zonas aledañas, se detendrá el proceso hasta que la turbidez del agua sea similar a las condiciones iniciales y no haya sólidos suspendidos.

Para la instalación de la bomba que será necesaria para la obtención de arena se hará uso de una embarcación y personal para la maniobra, por lo que se pueden generar residuos que si no son bien manejados afectarían la calidad del agua (AMta2, I<sub>std</sub>=0.55). No obstante, sólo se hará uso de una embarcación menor con motor fuera de borda, aunado a que el número de trabajadores será bajo. Cabe señalar que se llevarán a cabo acciones para evitar cualquier efecto adverso a este componente. En este sentido la embarcación será contratada a una empresa que pueda probar que la embarcación está sujeta a mantenimiento periódico y que está en buenas condiciones para su uso. Además, previendo cualquier incidente, se implementará un Subprograma de Contingencia ante derrames con el fin de evitar afectaciones mayores a este componente en caso de presentarse algún incidente. Asimismo, en la embarcación se tendrán contenedores para el depósito de residuos, lo cuales serán llevados a las instalaciones de hotel para su almacenamiento temporal y disposición final. Es por lo antes expuesto que la magnitud de este impacto se determinó como muy baja (0.2)

### **Factor ambiental: Fondo marino**

Debido a que se requiere sedimento de la zona para rehabilitar la playa, éste será obtenido dentro del SAR de las **zonas de acumulación “A”** (B1, B2) y **“G”** (B6, A1), alterando así la cantidad de sedimento (FMta1). Además de esto, la remoción de sedimento del sitio incrementará la profundidad de manera local en el área de succión y con ello la circulación en el sitio (FMta2).





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 21.** Valoración de los impactos ambientales para el factor ambiental: FONDO MARINO.

Factor ambiental: Fondo marino															
Obtención de arena.															
<b>FMta1.</b> Alteración de la cantidad de sedimento en el fondo marino debido a la extracción del mismo para su reubicación en la playa.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	2	2	1	1		16	0.38	0.4	0.15	Cm
<b>FMta2.</b> Alteración de la profundidad en el área de succión debido a la extracción del sedimento para su reubicación en la playa.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	2	2	1	1		16	0.38	0.2	0.07	Cm
<b>FMta3.</b> Modificación de la calidad de sedimento marino debido a la succión lo cual ocasionará la resuspensión del mismo.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	1	2	2	1	1		17	0.26	0.4	0.14	Cm
<b>FMta4.</b> Alteración de las características físico-químicas del fondo marino por la generación de residuos por el personal o por la embarcación.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	2	1	1		19	0.55	0.2	0.12	Cm



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Los resultados de modelación numérica (Anexo II.1) muestran la concentración de energía del oleaje que se produce en la zona de playa para las condiciones de oleaje más frecuentes que ocurren en la región, tanto en situación de calma como de tormenta lo que ha derivado en la pérdida de sedimento. Aunado a esto, los espigones que se encuentran en el área construidos en sentido perpendicular a la línea de costa retienen el transporte de sedimentos interrumpiendo el balance y la distribución natural y acentuando el déficit en las zonas de playa que quedan ente ellos y justo al lado de la marina. Estas obras concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa provocando mayor transporte en sentido transversal y facilitando la pérdida de volumen de sedimento en la playa seca. Los resultados de respuesta morfológica de la playa, en particular, aquéllos que representan la variación de cota batimétrica (erosión-sedimentación) durante un evento de oleaje permiten identificar la función de las estructuras como trampa de sedimento, tras observar zonas de sedimentación en la zona de resguardo de las estructuras. Estos resultados también reflejan la acumulación de sedimentos que actualmente tiene lugar junto a la marina, el cual tendería a ser movido hacia la playa. La interpretación conjunta de los resultados de cambio de línea de costa y análisis de zonas de sedimentación/erosión durante un evento de oleaje muestran cómo el sedimento puede ser desplazado de la playa seca a la playa sumergida por la acción del oleaje (de ahí el retroceso de la costa) pero sin perderse mar adentro, como ocurre actualmente, por la presencia de las estructuras.

Es por lo anterior que se hace necesaria la traslocación de sedimento de la **zona de acumulación “A” (sitios de muestreo B1, B2)** que son los sitios que presentan un tipo sedimento similar al de la playa receptora y que se ubican como puntos de acumulación del sedimento que ha sido perdido de la playa seca. En estos puntos se comprobó su viabilidad mediante un análisis de compatibilidad entre los sedimentos a través de la obtención de muestras a las cuales se les practicó un análisis granulométrico con el cual se concluyó que los sitios de préstamo son convenientes para llevar a cabo el relleno de la playa debido al tamaño de sedimento (Anexos II.1 y II.2), lo cual es de esperarse ya los sedimentos del banco de material fueron posiblemente transportados desde la playa emergida como fue mencionado anteriormente acumulándose en esos sitios por efecto de los espigones. Con la traslocación de este sedimento, la cantidad del mismo será alterado de manera local ( $FM_{ta1}$ ,  $I_{std}=0.38$ ), sin embargo, éste será dispuesto en la



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

playa seca dentro del mismo SAR por lo que la magnitud de este impacto por la traslocación de sedimento será baja (0.4).

La extracción de sedimento en una zona crea hoyos que modifican la profundidad local y con ello las condiciones hidrodinámicas del sitio y los mecanismos disposición de sedimento ( $FM_{ta2}$ ,  $I_{std}=0.38$ ). Cuando el agua cruza el hoyo la velocidad decrece como consecuencia del incremento de la profundidad y con ello la fuerza de transporte de sedimento. Como resultado el sedimento suspendido tiende a depositarse en el hoyo o alrededor de éste. Esto depende de varios factores (batimetría, poder de fricción de la corriente, tamaño de la cavidad, etc.) pero se ha visto que los efectos son locales (SANDPIT 2005) sin afectar la hidrodinámica más allá de la zona de succión, por lo que la circulación se afecta localmente. En general el relleno del hoyo ocurre gracias al colapso lateral y por la materia particulada transportada por las corrientes de fondo para las cuales, la cavidad actúa como trampa. El relleno de la cavidad está entonces en función de las características de la hidrodinámica local y la intensidad de succión en la misma zona (Fabi *et al.*, 2004). Si el relleno de la cavidad se hace de la manera correcta no incide en el ambiente o paisaje ni modifica la dinámica litoral (Preti 2002). Considerando esta información cabe mencionar que la arena será obtenida de la **zona de acumulación “A”** (B1, B2) y **zona de acumulación “G”** (B6, A1) que son las zonas donde se observa la acumulación del sedimento perdido por la playa seca. Se espera que, si bien en los bancos potenciales se removerá sedimento modificando la profundidad, el efecto será local y las condiciones del sitio serán restablecidas, pues sólo se removerá el sedimento necesario para evitar el exceso de acumulación y llevar a cabo el relleno de la playa. Es por esto, que el efecto de la succión de arena en este sitio será mínimo teniendo efectos locales. Además, el uso de esta arena ayudará a conservar este sedimento dentro del SAR. Es por esto que la magnitud los impactos se determinó como muy baja (0.2).

Con la succión se ocasionará la resuspensión de sedimento en el sitio ( $FM_{ta3}$ ,  $I_{std}=0.26$ ). La magnitud de este impacto se definió tomando en cuenta que, la **zona de acumulación “A”** (B1, B2) y **zona de acumulación “G”** (B6, A1) contienen arenas medias con bajo contenido de finos por lo que se generará una pluma de dispersión que tendería a moverse hacia el este por la corriente de oleaje y después al norte siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales)



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Rivera Arriaga 1998). Este sedimento puede recorrer una distancia probable de 1 a 2 km por ser arenas medias (Newell *et al.* 1999) depositándose dentro de las primeras 72 horas por contener baja cantidad de sedimentos finos. Se usará una bomba sumergible de succión con lo cual se espera que la cantidad de sedimento resuspendido sea baja (FMob2,  $I_{std}=0.38$ ) por lo que el sedimento que podría alcanzar la distancia máxima sería en mínima cantidad. Ante esto la magnitud se determinó como baja (4).

Para la instalación de la bomba que será necesaria para la obtención de arena se hará uso de una embarcación y personal para la maniobra, por lo que se pueden generar residuos que si no son bien manejados afectarían la calidad del fondo marino al precipitarse (FMta4,  $I_{std}=0.55$ ). No obstante, sólo se hará uso de una embarcación menor con motor fuera de borda, aunado a que el número de trabajadores será bajo. Cabe señalar que se llevarán a cabo acciones para evitar cualquier efecto adverso a este componente. En este sentido la embarcación será contratada a una empresa que pueda probar que la embarcación está sujeta a mantenimiento periódico y que se está en buenas condiciones para su uso. Además, previendo cualquier incidente, se implementará un Subprograma de Contingencia ante derrames con el fin de evitar afectaciones mayores a este componente en caso de presentarse algún incidente. Asimismo, en la embarcación se tendrán contenedores para el depósito de residuos, los cuales serán llevados a las instalaciones de hotel para su almacenamiento temporal y disposición final. Es por lo antes expuesto que la magnitud de este impacto se determinó como muy baja (0.2)

### **Factor ambiental: BIOTA MARINA**

Con las acciones de succión de arena la biota aledaña puede ser dañada por resuspensión de sedimento en el sitio (BMta1,  $I_{std}=0.55$ ).

**Tabla 22.** Valoración de los impactos ambientales para el factor ambiental: BIOTA MARINA.

Factor ambiental: Biota Marina														
Obtención de arena														
<b>BMta1.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres que habitan la zona aledaña debido a la resuspensión de sedimento durante la succión o por fuga en la tubería.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	3	2	2	1	1	19	0.55	0.6	0.33	M
<b>BMta2.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres que habitan en la zona por la generación de residuos por el personal o la embarcación.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	2	1	1	19	0.55	0.2	0.12	Cm

La succión en el área puede ocasionar la resuspensión del sedimento afectando a la biota aledaña (BMta1,  $I_{std}=0.55$ ) cuyo efecto será dependiente del tamaño de la pluma de dispersión, el tiempo que permanezca en la columna de agua, el tipo sedimento y la biota presente. En los organismos bentónicos el sedimento suspendido puede dañar el aparato de filtración de organismos suspensívoros y organismos autótrofos y el cambio en las comunidades de fauna microscópica que son fuente de alimento importante para muchas especies bentónicas (Hill *et al.*, 1999). La magnitud de este impacto se determinó con base en las especies que se encuentran en la zona y el tipo de sedimento del área.

Como se mencionó anteriormente de acuerdo con el análisis de sedimento realizado en el área (Anexos II.1, II.2, II.8), las zonas potenciales de donde podría obtenerse el sedimento (la **zona de acumulación “A”**: B1, B2; y **zona de acumulación “G”**: B6, A1) presentan un tamaño de sedimento entre 0.14 a 0.65 mm lo que corresponde a arenas medias de acuerdo con la escala Wentworth (Wentworth, 1922) y un porcentaje de finos variable con la zona de la marina



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

mostrando un porcentaje mayor al 50%. Considerando esto, la pluma de dispersión tendería a moverse hacia el este y después al norte siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998), recorriendo una distancia probable de 1 o 2 km por ser arenas medias disminuyendo su concentración hacia la mayor distancia según estudios realizados (Newell *et al.*, 1999) o menor ya que de acuerdo con un estudio realizado en Florida, se observó una distancia de dispersión de 150 m desde el sitio de afectación (DRAFT EIS 2011). Esta dispersión de sedimento afectará a las comunidades que se ubiquen en el trayecto de la pluma de dispersión. Con base en la caracterización marina realizada en el SAR (capítulo IV), la pluma de dispersión afectaría, especies presentes en los diferentes ambientes cercanos al área del proyecto, tal es el caso del ambiente de laja con algas y gorgonáceos en su mayoría en donde se registraron asimismo dos especies de gorgonáceos citados en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Considerando que si bien son zonas importantes se espera que con el uso de la bomba sumergible la cantidad de sedimento resuspendido será baja por lo que de llegar a alcanzar estas zonas sería en una cantidad mínima. Ante esto la magnitud se determinó como media (6). Como medida de prevención para evitar cualquier afectación a la biota, se colocará una malla geotextil para evitar la dispersión del sedimento más allá de la zona de intervención y se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de las acciones de succión, con el fin de observar cualquier cambio en la turbidez de la misma e implementar medidas de ser necesario. En el caso de la tubería utilizada, ésta será revisada previo a y durante su uso para verificar que se encuentre en buen estado, además de que se contratará personal especializado en este tipo de acciones para evitar afectaciones, y de existir alguna fuga se detendrán las acciones para realizar la reparación de la tubería fuera del área. En caso de tener algún efecto alrededor se detendrá el proceso hasta que la turbidez sea similar y no haya sólidos suspendidos.

Otro efecto importante que puede ocasionarse en este componente ambiental es el derivado del uso de la embarcación y la presencia de personal en el sitio por la generación de desechos si no se tiene el cuidado necesario. Estos residuos pueden afectar de manera directa a la biota al precipitarse o bien por la contaminación de su hábitat ( $BM_{ta2}$ ,  $I_{std}=0.56$ ). Cabe mencionar que sólo se hará uso de una embarcación menor con motor fuera de borda, aunado a que el





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

número de trabajadores será bajo (3). No obstante, se llevarán a cabo acciones para evitar cualquier efecto adverso a este componente. En este sentido la embarcación será contratada a una empresa que pueda probar que la embarcación está sujeta a mantenimiento periódico y que se está en buenas condiciones para su uso. Además, previendo cualquier incidente, se implementará un Subprograma de Contingencia ante derrames con el fin de evitar afectaciones mayores a este componente en caso de presentarse algún incidente. Asimismo, en la embarcación se tendrán contenedores para el depósito de residuos, los cuales serán llevados a las instalaciones de hotel para su almacenamiento temporal y disposición final. Es por lo antes expuesto que la magnitud de este impacto se determinó como muy baja (0.2)

### **Fase: Relleno de playa**

#### **Factor ambiental: AGUA MARINA**

Una vez obtenido el sedimento, éste será dirigido hacia la playa en donde será depositado. En el relleno de playas, la arena normalmente se coloca con una pendiente mayor a la de su perfil en equilibrio, para que una vez que ha sido colocada, las olas comiencen a equilibrar la playa en perfil y planta, cambiando también la forma de la línea de costa (Hill *et al.*, 1999). En este caso también hay formación de pluma de dispersión en el material recién depositado movilizado por las corrientes de marea (Hitchcock *et al.*, 1999), por lo que la calidad del agua será afectada por un incremento en la turbidez ( $AMre1, I_{std}=0.61$ ). Si el sedimento contiene un porcentaje pequeño de finos, la turbidez durará muy poco, pero si la proporción es alta entonces puede permanecer por mucho tiempo. Aunado a esto si la composición del material es alta en carbonato (conchas o fragmentos de coral), la turbidez puede aumentar dando al agua una apariencia lechosa si el material es impactado por zonas de rompiente de alta energía (DRAFT EIS 2011). De acuerdo con un estudio realizado en Florida, se observó una distancia de dispersión de 150 m desde el sitio de colocación (DRAFT EIS 2011). La magnitud de este impacto se determinó considerando el tipo y cantidad de sedimento que será utilizado para el relleno y las características del sitio.

**Tabla 23.** Valoración de los impactos ambientales para el factor ambiental: AGUA MARINA.

Factor ambiental: Agua marina														
Relleno de playa.														
AMre1. Alteración de las características físico-químicas del agua por resuspensión de sedimento en la zona de relleno por la inestabilidad inicial del sedimento.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	3	1	1	20	0.61	0.6	0.36	M
AMre2. Alteración de las características físico-químicas del agua por posible contaminación asociada a derrames de combustible por la maquinaria usada.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	3	1	1	20	0.6	0.2	0.12	Cm

El sedimento utilizado para llevar a cabo el relleno de la playa será obtenido de arenales sumergidos, ocupándose alrededor de 10, 400 m<sup>3</sup> para incrementar en 10 m el ancho de playa seca. Al respecto es de suma importancia mencionar que el sedimento que será usado en el relleno de la playa posee las mismas características que el de la playa con base en el estudio de caracterización del sedimento realizado en el SAR (Anexos II.1 y II.2). El sedimento obtenido de las zonas de acumulación (bancos de arena) propuestas, contienen una baja cantidad de finos pues se trata de arena media con contenido de carbonato (Carranza-Edwards, *et al.*, 2015) que es fácilmente disuelto por el agua. No obstante, el sedimento será depositado en la playa manteniendo una pendiente del 2 al 4%, similar e incluso inferior en parte al reportado para las playas de la Riviera Maya (en torno al 5%), lo que favorecerá la permanencia del sedimento en la misma. Considerando lo anterior la magnitud se determinó como media (0.6). El efecto por turbidez se puede controlar con actividades de contención de arena como la colocación de



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

geomallas y la formación de la tarquina con las cuales se prevé que contengan la mayor parte del material suspendido con el fin de prevenir o reducir el efecto. Además, se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de las acciones de disposición de la arena con el fin de verificar que el agua presente las mismas condiciones de turbidez antes de las obras.

En caso de que se requiera transportar arena en la playa seca, ésta será “distribuida y acomodada” de preferencia de forma manual y en caso necesario con maquinaria de pequeña escala (trascabo). De ser así, si esta maquinaria no se encuentra en buen estado puede ocasionar la contaminación del agua por el derrame de combustible (AMre2,  $I_{std}=0.6$ ). La magnitud de este impacto se definió como muy baja (0.2) considerando la cantidad de maquinaria que será usada para el relleno (uno o dos trascabos) y las condiciones de éstas ya que será corroborado que se encuentran en buen estado previo a su uso contratando empresas acreditadas. No obstante, se implementará un Subprograma de Contingencia ante cualquier derrame para evitar efectos mayores en la playa o agua.

### Factor ambiental: FONDO MARINO

Una vez obtenido el sedimento, éste será dirigido hacia la playa en donde será depositado ganando con ello terreno al mar, por lo que el fondo marino sobre el cual se depositará la arena será afectado (FMre1,  $I_{std}=0.72$ ).

**Tabla 24.** Valoración de los impactos ambientales para el factor ambiental: AGUA MARINA.

Factor ambiental: Biota Marina															
Obtención de arena															
FMre1. Alteración del fondo marino por la deposición de sedimento para el relleno de playa.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Factor ambiental: Biota Marina

(-)	3	2	2	3	3	3	3	1	3	22	0.72	0.2	0.14	Cm
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	------	-----	------	----

La magnitud de este impacto se determinó con base en el área de afectación y las condiciones actuales del sitio.

El área que será afectada por la deposición del sedimento para recuperar 10 m de playa será de 0.7870 ha como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 25.** Superficie que será ocupada por el relleno necesario para la recuperación de la playa.

Polígono	Frente de playa	Superficie de relleno considerando el frente de playa y diez metros de recuperación de playa.	
Norte	207m	2,070 m <sup>2</sup>	0.3300 ha
Sur	580 m	5,800 m <sup>2</sup>	0.5790 ha
<b>Total</b>	<b>787m</b>	<b>7,870 m<sup>2</sup></b>	<b>0.7870 ha</b>

Actualmente en el SAR se encuentra la marina del hotel asociado al proyecto y el muelle fiscal ocupando un área aproximada de 9.77 ha y 0.82 ha respectivamente, siendo en total 10.59 ha. El área que ocuparán los arrecifes artificiales será de 0.4186 ha. Por otro lado, los espigones tienen una longitud aproximada de 56 m y un ancho de 10 m, por lo que el área que ocupa cada espigón es alrededor de 560 m<sup>2</sup>. Se contempla la instalación de 84 pilotes circulares sobre un dado de concreto de 50 cm por 50 cm ocupando un área de 0.25 m<sup>2</sup> por pilote por lo que el área a ocupar por los 84 pilotes será alrededor de 21 m<sup>2</sup> por cada andador, ocupando los tres andadores contemplados, un área total de 63 m<sup>2</sup> (0.0063 ha). Además, el área que será ocupada por el relleno en la zona como se señaló anteriormente será de 0.787 ha. En suma, el área total de ocupación en el SAR considerando la infraestructura actual (10.59 ha) y el área ocupada por los arrecifes artificiales (0.4186 ha), los andadores piloteados (0.0063) y el relleno (0.787 ha) será de 11.8 ha por lo cual, si bien será un impacto permanente, el área de afectación representa un incremento de 1.21 ha lo que en total representa el 4.4 % del área total del SAR.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

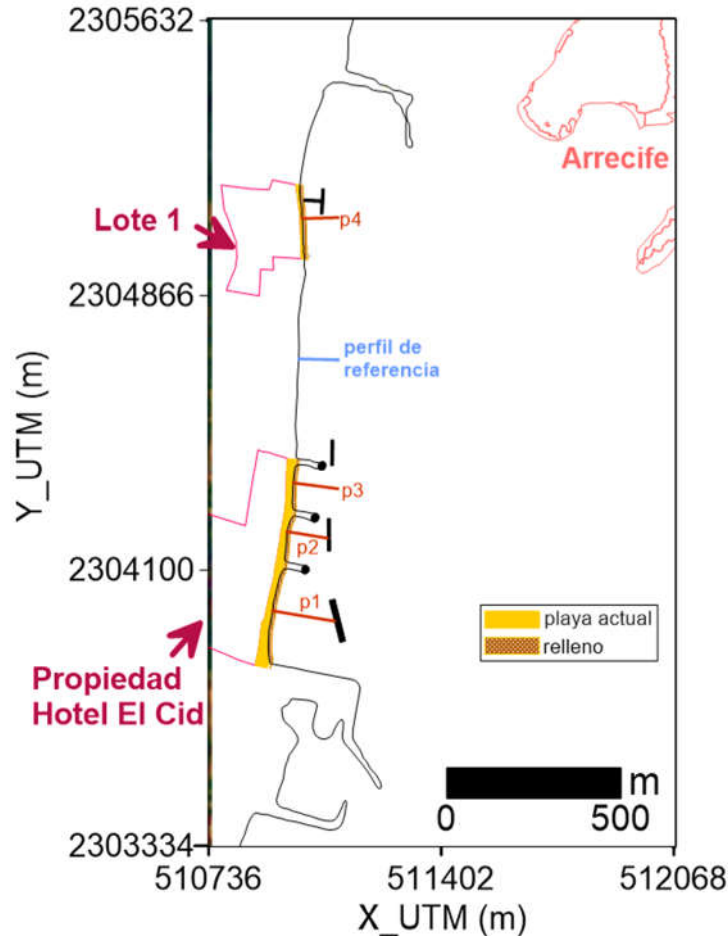
La zona que será afectada actualmente presenta un fondo de laja y roca en su mayoría, y arenal somero. Con el relleno de la playa este sustrato será alterado para sólo contener la arena traslocada. Si bien este será un impacto permanente, ésta ha sido una zona dinámica por la pérdida de sedimento por lo que el relleno sólo se realizará para recuperar únicamente los 10 metros de playa que se han perdido por el proceso erosivo que ha sufrido la zona.

Considerando que, si bien existirá un efecto permanente en el lecho marino por los elementos considerados en el proyecto, este efecto será local por lo que será de muy baja magnitud (0.2).

### **Factor ambiental: BIOTA MARINA**

Con la disposición del sedimento en la playa la biota que se encuentre en esta área será impactada directamente al depositar la arena sobre ella (BMre1, I<sub>std</sub> =0.83). La magnitud de este impacto se determinó con base en las comunidades que serán afectadas y el área que será perdida.

Las zonas de playa que pretenden ser alimentadas con el sedimento obtenido de los bancos de arena (zonas de acumulación) propuestos se encuentran frente a los lotes hoteleros, mostrados como polígonos en rojo en la siguiente figura.



**Figura 11.** Regiones consideradas para llevar a cabo la alimentación de la playa. Se pretende el relleno de la playa frente a los polígonos mostrados en rojo.

Se pretenden el uso de 10, 400 m<sup>3</sup> de sedimento para el relleno de la playa con el fin recuperar los diez metros que la playa ha perdido por efecto de la erosión. Con base en el área que se pretende rellenar y el estudio de caracterización marina del SAR mostrada en el capítulo IV, los ambientes que serán afectados en el lote sur serán roca con algas, arenal somero y laja con sedimento, mientras en el norte, arenal somero y laja con algas. En la siguiente tabla se presentan las características de cada tipo de ambiente.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 26.** Ambientes encontrados en las áreas que se pretenden alimentar con sedimento.

Polígono norte		
Laja con algas	con	Se caracteriza por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición. La mayoría de este tipo de ambiente tiene presencia de algas verdes calcáreas de crecimiento erecto, La presencia de gorgonáceos y corales escleractinios es escasa.
Polígono norte y sur		
Arenal somero		Este sustrato presenta variaciones en la composición del sedimento, encontrando arena de grano fino y mediano en el arenal somero que se encuentra a 100 metros de la costa; mientras que el arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo. En ambos casos, no se registró biota marina sésil.
Polígono sur		
Roca con algas	con	Este ambiente es un sustrato rocoso, con crecimiento de algas verdes.
Laja con sedimento	con	En este ambiente, el sustrato de laja está cubierto por una capa de sedimento que no tiene más de 5 cm de grosor, con presencia moderada de vegetación marina (algas y pasto marino) y gorgonáceos poco densos. La composición de la vegetación que se encuentra en estos sitios es muy variada, y va desde prácticamente nula, hasta parches monoespecíficos, de algas verdes o rojas. Los corales son muy escasos.
Invertebrados		Se registraron organismos pertenecientes a 7 diferentes grupos, tales como anélidos, anémonas, coralimorfos, crustáceo, equinodermos, esponjas y moluscos. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 15 especies presentes. La mayor cantidad de especies registradas fue 15 y se registró en el ambiente de Laja con algas y gorgonáceos, mientras que en el arenal somero y rocas con algas no se registró ningún organismo.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

	Cabe destacar que <i>L. gigas</i> estuvo presente en el ambiente de laja con algas y laja con sedimento, aunque de manera escasa.
--	---

Observando la información antes mostrada, en la zona de afectación si bien existe biota que la habita (con excepción del arenal somero), son organismos que no se encuentran citados en la NOM-059-SEMARNAT-2010 por lo que no se presentan algún estatus de riesgo. Por otro lado, el área de afectación de estos ambientes será baja como se muestra en las tablas siguientes.

**Tabla 27.** Superficie que será ocupada por el relleno necesario para la recuperación de la playa.

Polígono	Frente de playa	Superficie de relleno considerando el frente de playa y diez metros de recuperación de playa.	
Norte	207m	2,070 m <sup>2</sup>	0.3300 ha
Sur	580 m	5,800 m <sup>2</sup>	0.5790 ha
<b>Total</b>	<b>787m</b>	<b>7,870 m<sup>2</sup></b>	<b>0.7870 ha</b>

**Tabla 28.** Ambientes que serán afectados y superficie de impacto debido al relleno de la playa.

Ambiente	Área total en el SAR
Laja con algas	57.26 ha
Laja con sedimento	6.99 ha
Roca con algas	1.66 ha
Arenal somero	13.23 ha
<b>Total</b>	<b>79.14 ha</b>

En total se impactarán 0.787 ha lo que representa 1% del total del área cubierta por los ambientes afectados en el SAR (79.14), que junto con la instalación de los espigones y los andadores piloteados se afectarán 1.21 ha del área total del SAR, lo que representaría el 0.44 %. Esto muestra que la superficie que será ocupada representa un porcentaje bajo respecto al área del SAR. Además, es importante mencionar que con el retiro de los espigones y su cambio por andadores piloteados se dejará libre el área para el establecimiento de nuevos individuos, compensando en cierta medida la pérdida de área y biota en la zona. Ante lo expuesto la magnitud se determinó como baja (0.4).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

La biota aledaña puede sufrir afectaciones por el sedimento suspendido cuando se realice el relleno, debido al transporte de sedimento recién colocado por las corrientes, aunque se ha visto que el efecto es menor que el observado durante el dragado ( $BMre2, I_{std} = 0.61$ ,  $BMre4, I_{std} = 0.66$ ). La magnitud de este impacto se determinó con base en las comunidades aledañas, las especies presentes y el comportamiento del sedimento.

El proyecto pretende el vertido de 10 400 m<sup>3</sup> para incrementar en 10 m el ancho de playa seca. Este material será similar al de la playa receptora siendo arena media. Cabe mencionar que el vertido de arena en la playa será llevado a cabo una vez que los arrecifes artificiales sean construidos, por lo que parte del sedimento será retenido por estas estructuras. Una vez vertida la arena, la pluma de dispersión seguirá su trayectoria de acuerdo con la hidrodinámica del SAR, esto es, oleaje E, ESE en condiciones de calma, contracorriente norte-sur y giros hacia el norte cuyo flujo resultante se dirige hacia la costa (Merino 1986, Suárez-Morales y Rivera-Arriaga 1998), por lo que podría afectar en su paso a los ambientes encontrados en el SAR particularmente la zona de pastos marinos y al de laja con gorgonáceos en los cuales se registró la presencia de dos especies de gorgonáceos y dos de pastos marinos citados en la NOM-059-SEMARNAT-2010 con abundancia relativa rara. No obstante, se ha observado que durante el relleno de la playa se produce alta turbidez en la proximidad de la zona de liberación y desaparece algunas horas después de la operación. Entre el 97 y 99% del sedimento suspendido es depositado a algunas decenas de metros del punto de descarga (Nicoletti, *et al.*, 2006), pero la duración del efecto es significativamente menor y las comunidades se recuperan a niveles similares en algunos meses (Van Dolah *et al.* 1983, Green 2002). El necton es altamente móvil y puede dejar las áreas de afectación fácilmente (Green 2002; Wilber *et al.*, 2003) por lo que para este grupo son efectos de corto plazo. Ante lo expuesto la magnitud se determinó como media (0.6). Como medida de prevención para evitar cualquier afectación a la biota, se colocará una malla geotextil antidispersión de finos y se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de las acciones de relleno con el fin de verificar que las condiciones de turbidez del agua sean similares a las iniciales.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 29.** Ambientes encontrados en las áreas que se pretenden alimentar con sedimento.

Factor ambiental: Biota Marina															
Relleno de playa															
<b>BMre1.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres por enterramiento debido a la disposición de arena para la recuperación de la playa.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	3	3	3	3	3	1	3		24	0.83	0.4	0.32	M
<b>BMre2.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la resuspensión de arena cuando se lleve a cabo el relleno de la playa.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	3	2	2	1	1		20	0.61	0.6	0.36	M
<b>BMre3.</b> Alteración del hábitat de anidación de la tortuga marina debido a la disposición de arena para la regeneración de la playa															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	3		24	0.83	0.4	0.33	M
<b>BMre4</b> Afectación de las zonas de alimentación de la Tortuga marina (pastos marinos y que también sirven de refugio para otras especies) por la resuspensión de sedimento durante las acciones de vertido de arena.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Factor ambiental: Biota Marina

(-)	3	3	3	3	3	2	2	1	1	21	0.66	0.6	0.36	M
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	------	-----	------	---

Dado que las playas de Quintana Roo son áreas importantes de anidación de tortugas marinas, éstas podrían ser afectadas por la alimentación de la playa con sedimento modificando así su hábitat (BMre3,  $I_{std}=0.83$ ). En una playa alimentada, la arena tiende a estar compactada reduciendo la calidad del hábitat de anidación. La compactación altera la temperatura de la arena y los niveles de humedad, evitando que las tortugas marinas adultas construyan exitosamente sus nidos y se afecta el proceso de incubación de los huevos (Choi y Eckert 2009). La magnitud de este impacto se determinó considerando tres elementos importantes: 1) la importancia de la playa para la anidación de tortugas, 2) el registro histórico que se posee respecto al número de nidos y crías liberadas en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales y 3) el sedimento y efecto potencial que la recuperación de la playa puede representar en las tortugas marinas.

Como se señaló anteriormente la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales no forma parte de las principales playas de anidación de tortugas marinas (Briseño y Abreu, 1998, [www.florafauaycultura.org](http://www.florafauaycultura.org)). Con los datos obtenidos de los registros se observa que el número de nidos y de crías liberadas para *Chelonia mydas* es en promedio de 6 nidos por temporada mientras para las otras especies (*Caretta caretta* y *Eretmochelys imbricata*) son aún más escasos, y con ello el número de crías liberadas. En el caso de *E. imbricata* su registro sólo fue en 2011 de 3 nidos, y no se ha registrado a partir de este año. Esto indica que se trata de una playa que actualmente no cuenta con una alta densidad de nidos ni con un número alto de anidaciones y de liberación de crías quizá debido, a que la zona frente al hotel asociado al proyecto ha sufrido un retroceso en la línea de costa aunado a la actividad humana por la construcción de infraestructura hotelera.

Los expertos siguen debatiendo si la alimentación de las playas afecta el comportamiento de anidación de las tortugas marinas (Davis *et al.* 1999). Algunos autores (Steinitz *et al.*, 1998; Rumbold *et al.*, 2001) han publicado datos que



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

demuestran que el número de nidos disminuye y el número de rastros falsos (intentos de anidación fracasados), se incrementa inmediatamente después de la alimentación de la playa. Crain *et al.* (1995) concluyeron que, si bien los proyectos de regeneración pueden mejorar algunas áreas de anidación, en general los efectos (para las tortugas marinas) son negativos. En una evaluación realizada en el sureste de Florida, Wanless y Maier (2007) atribuyeron el fracaso generalizado de los proyectos de alimentación de playas, entre otras cosas, a la falta de material adecuado y asequible en las cercanías. El reemplazo de los sedimentos en general, mostró un tamaño de grano, una durabilidad y un comportamiento inadecuado para el establecimiento de una playa. Las arenas procedentes del dragado de la plataforma adyacente, contenían excesivas cantidades de arena fina y limo y materiales particulados demasiado pequeños como para permanecer en la playa. Como consecuencia, los corales y el hábitat del fondo duro de la angosta plataforma adyacente fueron estresados por presentar un incremento de la turbidez por los sedimentos, salinización y asfixia para los organismos.

Además del ancho de la playa y la pendiente, la distribución del tamaño de grano del sedimento es importante para el éxito o fracaso de las nidadas y la eclosión de los huevos. Se ha confirmado que las playas que poseen un porcentaje mayor de arena media que fina o gruesa facilita la anidación en dos formas: 1) proveen una playa relativamente seca y 2) proveen mayor facilidad para cavar los nidos. (Shraban *et al.*, 2014). En el caso de *E. imbricata* y *C. mydas*, el mayor número de nidos se ubican en zonas asociadas con textura de sedimentos de tamaño medio, debido a que esta característica sedimentológica mantiene las condiciones de humedad y temperatura dentro de la cámara de incubación para un mayor éxito de eclosión de crías de tortugas marinas. Dichas variables demuestran tener una importante influencia en la sobrevivencia y eclosión de tortugas marinas como lo han indicado algunos autores (Torrey 1978; McGehee 1979; Arzola y Armenta 1994). La menor frecuencia de anidación en sitios asociados con arenas gruesas y finas se puede explicar porque en estas texturas de sedimentos las condiciones de humedad y temperatura no llegan a mantenerse constantes (Morreale 1982; Spotila *et al.*, 1981), así, las fluctuaciones de estas variables pueden alterar el desarrollo embrionario principalmente en las épocas de lluvias y secas. Si la playa no tiene calidad para la anidación (sustrato inadecuado para la incubación por motivos diversos como pueden ser: demasiada humedad, demasiada sequedad,





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

falta de arena, etc.) la tortuga retorna al mar sin depositar los huevos para salir posteriormente en otra zona (Abella 2010). En este sentido es importante considerar la textura original de las arenas en las playas de anidación que serán sujetas a programas de recuperación de playas para no afectar los sitios de anidación y el éxito de estas (Bolongaro Crevenna *et al.*, 2010).

Basándose en esta información es importante mencionar que siguiendo el análisis realizado en el área sobre el sedimento que puede ser usado para el relleno de la playa (Anexo II.1, II.2, II.8), dos polígonos correspondientes a la **zona de acumulación “A”** (B1, B2) y **zona de acumulación “G”** (B6, A1) son considerados como idóneos para realizar la alimentación de la playa como se muestra en las siguientes tablas.

**Tabla 30.** Parámetros del análisis granulométrico de las muestras de la playa.

Origen de muestra	Muestra	D <sub>50</sub> (mm)	% Finos
Playa	M5	0.232	0.17
Playa	M6	0.372	0.49
Playa	M7	0.277	0.16
Playa	M8	0.356	0.09

**Tabla 31.** Parámetros del análisis granulométrico de las muestras de bancos de arena.

Origen de muestra	Muestra	D <sub>50</sub> (mm)	% Finos	μ'
Zona de acumulación “A”	B1	0.43	0	1.81 (μ'b)
	B2	0.14	0	4.33 (μ'b)
Zona de acumulación “G”	B6	0.65	2	0.72 (μ'b)
	A1	0.22	0.28	3.22 (μ'b)

Esto, por lo tanto, disminuye en cierta medida el efecto que podría tener en la anidación de las tortugas, ya que como se ha visto en los estudios antes mencionados, el sedimento juega un papel importante en la anidación de los quelonios. No obstante, se ha observado que la cantidad de nidadas en las playas restauradas fue menor en los dos primeros años después de la ejecución del



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

proyecto, siendo similares después del segundo año de haber sido restauradas las playas mostrando las mismas condiciones que las playas naturales en Florida (Steibnitz, *et al.*, 1998). Lo que más influyó para la reducción de nidos fue la dureza de la playa en los primeros 20 cm de sedimento y la formación de bermas de 2-3 m frente a las playas lo que impidió la entrada de hembras. Algunos estudios muestran que las playas restauradas se estabilizan después de dos años, presentando en algunos casos, un mayor número de nidos que las naturales probablemente porque en ese momento presentaban mejores condiciones para la anidación de tortugas caguama (*Caretta caretta*) (Aubree y Gallagher 2009), o bien, porque las condiciones fueron comparables a las de las naturales, ya que playas recién restauradas tienden a estar compactadas y a formar bermas que impiden el paso de las tortugas (Steinitz *et al.* 1998). Esto indica que una playa restaurada a través de la alimentación de sedimento, aun siendo similar al de la playa receptora implica un tiempo de estabilización en el cual es probable que la anidación no se presente o sea menor. Por lo tanto, en la playa (frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales) que se pretende rehabilitar con arena, se espera que se presente este periodo de estabilización y que con la recuperación del ancho de la playa el número de arribazones pueda incrementar.

Observando las condiciones actuales de la playa (frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales) en la que se presenta el retroceso de la línea de costa por erosión en el sitio, y la importancia ecológica por el arribo de tortugas marinas y otras especies además de ser una zona de afluencia turística, se hace necesario el establecimiento de medidas que ayuden a la recuperar la playa. Es por esto que se incorporará arena en la playa para aumentar la línea de costa y con ello se modificará la topografía y el perfil actual. Si bien estos serán cambios que alteren las condiciones actuales del sitio, éstos significan efectos que serán benéficos para la zona. Éstos no sólo se verán en el incremento de playa que repercutirá en el bienestar de los visitantes sino también en el incremento de zonas de anidación para las tortugas marinas que arriban a la zona pues la morfología de la playa juega asimismo un papel determinante en el patrón temporal de distribución de nidos (Hendrickson 1982). Se ha registrado un mayor número de nidos en playas de mayor extensión que en cortas y expuestas al oleaje ya que existe más espacio útil para la creación de nidos (Abella 2010). Muchas de las especies de tortugas marinas seleccionan preferentemente playas anchas, libres de obstáculos para anidar pues



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

las pérdidas debido a la erosión e inundación por agua salada, ocurren con menor probabilidad a los nidos situados en la parte alta de la playa (Abella 2010). La pérdida de playas arenosas no sólo reduce el éxito reproductivo de las tortugas marinas, sino que también pone en peligro la operatividad de las propiedades frente a la playa, además de las serias repercusiones que tiene para industrias locales vitales, como la pesca y el turismo costero.

Basándose en la información antes expuesta respecto a las condiciones actuales de la playa, la importancia de la playa como zona de anidación de tortugas marinas, y el efecto que podría tener el relleno a corto y largo plazo, la magnitud se determinó como baja (0.4).

Dado que la regeneración de la playa es necesaria, es de suma relevancia mencionar que para atenuar los efectos de esta acción, como se señaló previamente la arena de reemplazo será similar a la de la playa receptora cuidando además que contenga la menor concentración de materia orgánica, arcilla y limo posible para evitar que el material se consolide formando escarpes pronunciados en las playas por efecto del oleaje y que impida el paso de las tortugas marinas o el proceso de excavación de nidos, manteniendo así la idoneidad de la playa para la incubación de huevos. Además de esto, es de notar que el perfil de playa después de la alimentación tendrá una pendiente del 2 al 4%, similar al reportado para las playas de la Riviera Maya (en torno al 5%), lo que favorecerá la permanencia del sedimento en la playa y con ello las características para que las tortugas puedan elegir esta zona para su arribo.

Aunado a lo anterior se incluirán acciones para revisar las condiciones de la playa previo al inicio de la temporada como la compactación y la formación de bermas que se integrarán al **Programa de Manejo de Tortuga El Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo** que actualmente lleva a cabo el hotel.

**ELEMENTO: ANDADORES PILOTEADOS**

**Grafo de relación causa-efecto.**

Las redes de interacción como se mencionó anteriormente son una técnica muy útil en la primera aproximación a las afectaciones potenciales que un proyecto puede ocasionar en el o los ecosistemas, por lo que considerando las obras y actividades que el proyecto contempla en su desarrollo y las características ambientales del SAR, se generó el grafo de relación causa-efecto respecto a la instalación de los andadores piloteados que se muestra en la siguiente figura.



**Figura 12.** Grafo de relación causa-efecto que muestra los posibles efectos por la instalación de andadores piloteados.

Como parte del proyecto se pretende la construcción de tres andadores piloteados que se ubicarán en donde actualmente se encuentran espigones, los cuales fueron colocados con anterioridad en la zona.

Con el retiro de las rocas de los espigones y la instalación de los andadores se generará turbulencia y con ello resuspensión del sedimento sobre todo al remover



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

las rocas del fondo de los espigones. Con esta resuspensión, la calidad del agua marina será afectada al incrementar la turbidez. Asimismo, el fondo marino será afectado al removerse el sedimento que lo conforma y con ello la biota que habita en los espigones y aquella aledaña al sitio.

Durante las acciones de retiro de espigones, instalación de andadores y el paso de huéspedes, la calidad del agua y del fondo marino pueden ser afectadas por la generación de residuos contaminando así a estos componentes ambientales. Los residuos provendrán principalmente de los trabajadores, de los huéspedes y de la maquinaria usada.

Actualmente con la presencia de los espigones, el área muestra una dinámica litoral propia. Con la remoción de éstos, y la instalación de los andadores piloteados, la dinámica litoral y con ello la dinámica costera será modificada al eliminar las barreras que representan los espigones y permitir el libre paso del agua nuevamente por este sitio.

Por último, el paisaje será afectado por el cambio de estructuras incidiendo en la percepción visual del sitio.

### **Acciones susceptibles de generar impactos y factores ambientales potencialmente afectados.**

El tercer elemento considerado en la ejecución de este proyecto es la instalación de andadores piloteados en sustitución de los espigones que actualmente se ubican en la zona, por lo que las acciones identificadas que pueden ocasionar impactos en el ambiente se muestran en la siguiente tabla.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 32.** Acciones que pueden ocasionar impactos ambientales durante la ejecución del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.

Andadores piloteados		
Retiro de espigones	Construcción	Operación y mantenimiento de andadores
Uso de maquinaria Generación de residuos	Uso de maquinaria Hincado de pilotes Instalación de muelles Generación de residuos	Generación de residuos por presencia de visitantes y actividades de mantenimiento de los andadores.

Los componentes ambientales que pueden sufrir algún efecto por la instalación de los andadores piloteados se muestran a continuación.

**Tabla 33.** Factores ambientales susceptibles de recibir impactos ambientales durante la ejecución del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.

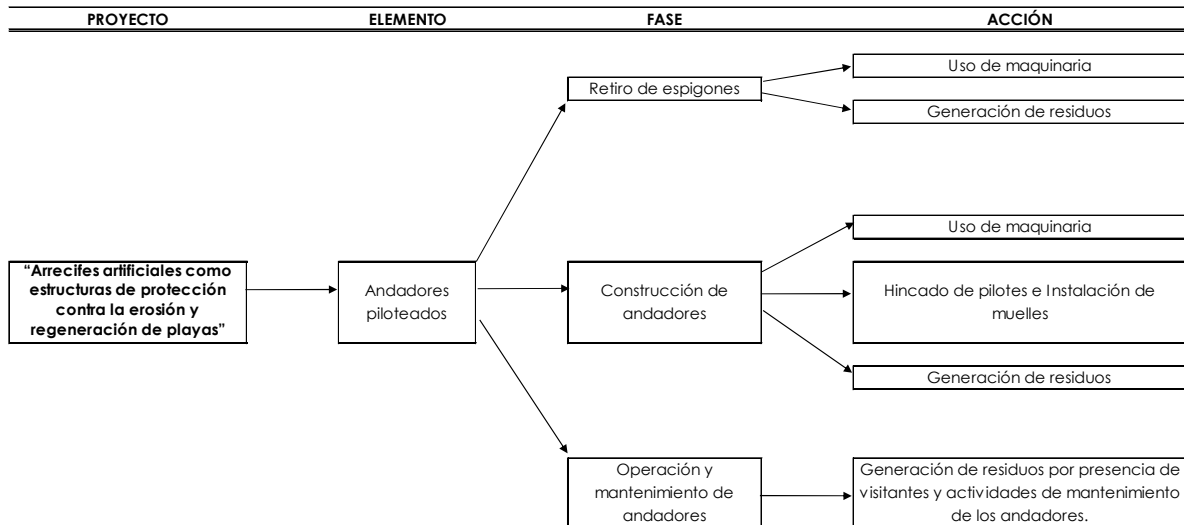
Factores ambientales susceptibles de sufrir un impacto ambiental.		
Ambiente Marino		
Medio	Factor	Subfactor
Abiótico	Agua	Calidad
	Fondo marino	Calidad
	Dinámica costera	Perfil de playa Dinámica litoral
Biótico	Biota marina	Hábitat
		Cobertura
		Zonas de alimentación de Tortuga (pastos marinos)
Perceptual	Paisaje	Incidencia visual
Socio-económico	Económico	Nivel de empleo
	Social	Recreación

Con lo antes señalado, se crearon los árboles de acciones y de factores ambientales, los cuales son mostrados a continuación para con ello generar la matriz de identificación de impactos.

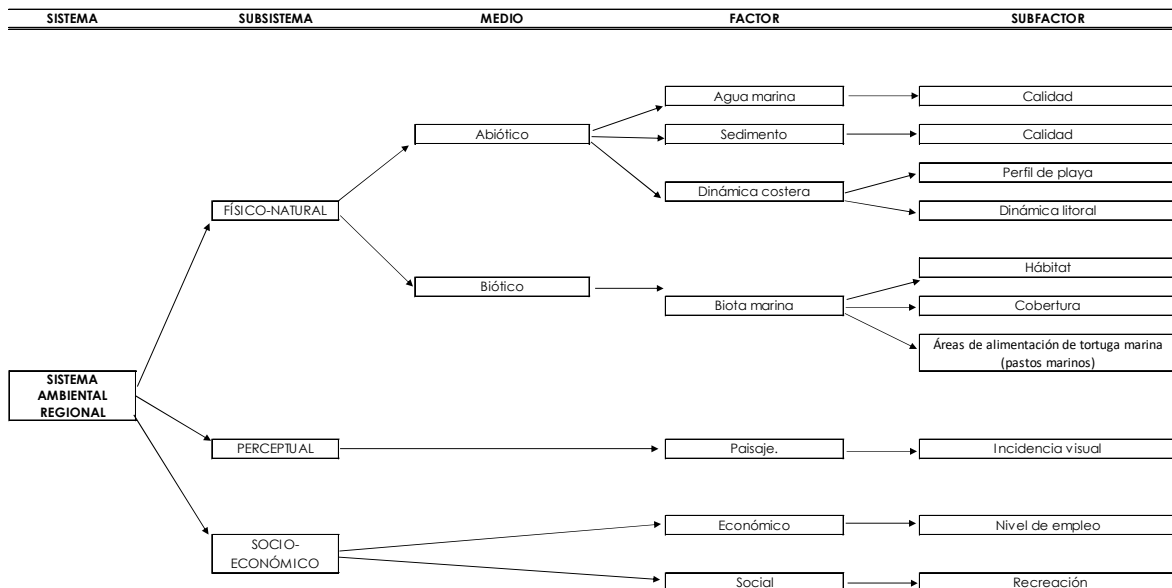




## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 13.** Árbol de acciones contempladas en la construcción de los andadores piloteados para el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.



**Figura 14.** Árbol de factores ambientales que pueden ser afectados en la construcción de los andadores piloteados para el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Matriz de interacción

A partir del análisis de la matriz de interacción se obtuvieron un total de 23 interacciones factor ambiental-acción del proyecto, de las cuales 7 se presentarán durante el retiro de los espigones, 10 en la etapa de construcción de los andadores y 6 en la etapa de operación y mantenimiento.

					Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas						
					Andadores piloteados						
					Retiro de espigones		Construcción		Operación y mantenimiento de andadores		
					Uso de maquinaria	Generación de residuos	Hincado de pilotes e instalación de muelles	Generación de residuos	Operación de andadores	Generación de residuos por presencia de visitantes y actividades de mantenimiento de ser el caso	
Sistema	Subsistema	Medio	Factor	Subfactor							
SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL		Abiótico marino	Agua	Calidad	X	X	X	X		X	
			Fondo marino	Calidad		X	X	X		X	
			Dinámica costera	Perfil de playa					X		
		Biótico marino	Biota marina	Dinámica litoral	Hábitat				X	X	
				Cobertura			X				
				Área de alimentación de tortuga marina (Pastos marinos)		X					
		Perceptual	Paisaje	Incidencia visual				X	X		
	SOCIO-ECONOMICO	Socio-Económico	Económico	Nivel de empleo	X	X		X			
			Social	Recreación		X		X			

**Figura 15.** Matriz de interacción factor ambiental-acción para los andadores piloteados contemplados en el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”.

### Valoración de los impactos ambientales

Una vez determinadas las posibles interacciones entre los factores ambientales y las actividades involucradas en la ejecución de las obras, se identificaron las posibles afectaciones ambientales, las cuales serán presentadas a continuación de manera breve y su efecto sobre los componentes ambientales será valorado de acuerdo al grado de afectación del mismo a través de la importancia y magnitud, con base en la metodología descrita con anterioridad.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Los efectos potenciales serán valorados para cada factor ambiental considerado.

Con el fin de determinar la relevancia de los impactos identificados, se llevó a cabo el cálculo de los índices de incidencia ( $I_{std}$ ) y de magnitud ( $I_M$ ), para determinar aquellos que serán significativos.

### **Cálculo del valor del impacto.**

#### **Índice de Incidencia ( $I_{std}$ ) y de Magnitud ( $I_M$ ) por factor ambiental.**

Los índices de incidencia y magnitud, se calcularon de acuerdo a la metodología descrita previamente. Para ello los impactos se caracterizaron de acuerdo a los 10 atributos señalados con base en sus características. Posteriormente, se definieron los indicadores que pudieran reflejar la magnitud de éstos, medida en unidades heterogéneas. Los indicadores seleccionados fueron en la medida de lo posible cuantitativos. Cuando no fue posible, se llevó a cabo la valoración de la magnitud con la ayuda de indicadores cualitativos.

La construcción de andadores piloteados no implicará la construcción de barreras que modifiquen la corriente litoral que interrumpa los procesos de transporte pues como su nombre lo indica se usarán pilotes que permitirán la libre circulación del agua.

### **Fase: Retiro de espigones.**

#### **Factor ambiental: AGUA MARINA**

Con el retiro de las rocas que conforman a los espigones se generará turbulencia, ocasionando así la resuspensión de sedimento en la zona (AMes1,  $I_{std}=0.55$ ). La magnitud de este impacto se determinó considerando que, de acuerdo con la caracterización del ambiente realizada *in situ*, los espigones se ubican en dos ambientes: arenal somero (espigón norte y centro) y laja con algas (espigón sur). El arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo. Cuando las plumas están compuestas



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

principalmente por sedimentos finos, la distancia que pueden recorrer varía de 1 a 4 km de distancia disminuyendo la concentración en la distancia más lejana de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell 2004) y el tiempo de suspensión puede variar de 30 min a 1 hora (Newell *et al.*, 1999). Una vez resuspendido, el sedimento, la pluma de dispersión tendería a moverse siguiendo la hidrodinámica del sitio. De esta forma el sedimento tendería a dirigirse al sur para luego retornar a la zona norte siguiendo el patrón de contracorriente y giros entre puntas para retornar a la costa. Cabe mencionar que además del patrón existen dos barreras (marina y muelle fiscal) que pueden contener este flujo (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998). Considerando los elementos antes referidos, la magnitud de este impacto se determinó como baja (0.4). No obstante, para evitar esta afectación se colocará una geomalla textil para retención de sedimento y se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina con el fin de verificar que las condiciones de turbidez del agua sean similares a las iniciales.

Además del efecto por el sedimento, la calidad del agua puede verse afectada por contaminación debido a los desechos producidos por el personal o por algún derrame de la maquinaria ( $I_{std}=0.44$ ). La magnitud de este impacto se determinó por el tipo de residuos que serán producidos y la cantidad de personal laborando en el área. La cantidad de trabajadores en el área será baja (15 personas), y los residuos producidos serán básicamente restos de comida o contenedores (envases, botellas, etc.). Por otro lado, el agua podría ser contaminada por el derrame de combustible de la maquinaria usada para el retiro de los espigones si no se encuentra en buenas condiciones. Considerando lo antes expuesto la magnitud se determinó como muy baja (0.2), ya que además se implementarán a cabo acciones para evitar la contaminación de este factor ambiental por los trabajadores o por la maquinaria, pues ésta será revisada previo a su uso y no se permitirá llevar a cabo el mantenimiento de ésta en el sitio. Aunado a esto se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame para evitar efectos adversos mayores de suceder algún incidente.

**Tabla 34.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: AGUA MARINA.

Factor ambiental: Agua marina															
Retiro de espigones															
<b>AMes1.</b> Alteración de la calidad de agua debido a la resuspensión de sedimento incrementando la turbidez del sitio por el retiro de espigones.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	1	3	3	1	1		21	0.55	0.4	0.26	M
<b>AMes2.</b> Alteración de la calidad de agua por posible contaminación debida a los residuos provenientes de la maquinaria por algún derrame y el personal que labore en el sitio.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	1	3	3	1	1		19	0.44	0.2	0.11	Cm

#### Factor ambiental: FONDO MARINO

Un aspecto importante que puede modificar la calidad del fondo marino es la resuspensión de sedimentos por la turbulencia asociada a las acciones de instalación de las estructuras (FMes1,  $I_{std}= 0.55$ ). La magnitud de este impacto se definió tomando en cuenta que los espigones norte y centro se encuentran ubicado en un arenal somero compuesto por arena muy fina de fácil resuspensión, mientras el espigón del sur se ubica en un ambiente de laja con algas en donde el sedimento es muy poco. Por esto, la magnitud de este impacto será baja (0.4). Este efecto es inevitable, sin embargo, se colocará una malla geotextil, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya despositado en el fondo, lo cual será corroborado a través de



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

la vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas.

Debido a la presencia de personal y el uso de maquinaria, la calidad del sedimento marino puede verse afectada por contaminación debido a los desechos producidos por el personal o por algún derrame de la maquinaria (FMes2, Istd=0.5). La magnitud de este impacto se determinó por el tipo de residuos que serán producidos y la cantidad de personal laborando en el área. La cantidad de trabajadores en el área será baja (15 personas), y los residuos producidos serán básicamente restos de comida o contenedores (envases, botellas, etc.). Por otro lado, el sedimento podría ser contaminado por el derrame de combustible de la maquinaria usada para el retiro de los espigones si no se encuentra en buenas condiciones. Considerando lo antes expuesto la magnitud se determinó como muy baja (0.2), ya que además se implementarán a cabo acciones para evitar la contaminación del agua por los trabajadores o por la maquinaria, pues ésta será revisada previo a su uso y no se permitirá llevar a cabo el mantenimiento de ésta en el sitio. Aunado a esto se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame para evitar efectos adversos mayores de suceder algún incidente.

**Tabla 35.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: FONDO MARINO.

Factor ambiental: Fondo Marino														
Retiro de espigones														
FMes1. Alteración de la calidad del sedimento por resuspensión del sedimento asociada a la turbulencia ocasionada por el retiro de los espigones.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	1	3	3	1	1	19	0.55	0.4	0.22	M
FMes2. Alteración de la calidad del sedimento por posible contaminación debida a los residuos provenientes de la maquinaria y el personal del sitio.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factor ambiental: Fondo Marino														
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	3	3	1	1	18	0.5	0.2	0.10	Cm
<b>FMes3.</b> Modificación del lecho marino por el retiro de las estructuras														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	3	3	1	3	21	0.66	0.2	0.10	Cm

Los espigones que actualmente se encuentran en el SAR, fueron colocados con anterioridad ocasionando impactos directos al lecho marino al ser barreras exógenas y ocupar espacio libre. Con el retiro de las estructuras, el fondo marino será modificado nuevamente cambiando su configuración y la topografía del sitio (FMes3, Istd=0.66), sin embargo, será un impacto local de muy baja magnitud (0.2), ya que se eliminarán los elementos ajenos al ambiente y dejando libre espacio pues con la instalación de los andadores piloteados se ocupará un área de 61 m<sup>2</sup>, liberando 539 m<sup>2</sup> del área que está siendo ocupada actualmente por los espigones.

Aunado a lo anterior relevante mencionar que, como se ha señalado en el anexo II.1, los espigones han causado alteraciones locales en la hidrodinámica del sitio provocando erosión en el área que ocupan en promedio de 10 m, con valores máximos en torno a 20 m en la región ocupada por los espigones instalados frente al Hotel el CID. Estas estructuras modificaron no sólo las corrientes locales sino también el transporte de sedimento al retenerlo e interrumpir el balance y la distribución natural, acentuando el déficit en las zonas de playa que quedan entre ellos y justo al lado de la marina, además de acumulación de sedimento aguas arriba. Adicionalmente, las obras citadas concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa provocando mayor transporte en sentido transversal y facilitando la pérdida de volumen de sedimento en la playa seca, por lo que han contribuido a su deterioro. Otros efectos negativos derivados de la modificación natural de las corrientes por la presencia de los espigones es la alteración de los



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

circuítos de renovación natural de la playa lo que ocasiona la modificación de la pendiente a tal grado que el ángulo de reposo de la arena puede ser tan grande que se provoque un deslizamiento. Además, la construcción de estos espigones trajo consigo la pérdida de comunidades bentónicas, la falta de renovación del agua y con ello de movilización de nutrientes, así como proliferación de bacterias por la permanencia del agua en la zona.

Lo anterior hace evidente los efectos negativos que los espigones han traído consigo desde su instalación en el área por lo que su retiro y sustitución por andadores piloteados permitirá no sólo el establecimiento de biota en el área que quedará libre como sustrato a ser colonizado, sino también el restablecimiento del flujo de agua y sedimento lo que coadyuvará en la regeneración de la playa.

### **Factor ambiental: BIOTA MARINA**

Con el retiro de las rocas que conforman a los espigones se generará turbulencia, ocasionando así la resuspensión de sedimento en la zona y afectando de manera directa a la biota aledaña que se encuentra en la zona por incremento de turbidez o por ser cubiertas con el sedimento que se deposita ( $B_{Mes1}$ ,  $I_{std}=0.61$ ). La magnitud de este impacto se determinó considerando que, de acuerdo con la caracterización del ambiente descrita en el capítulo IV, los espigones se ubican en dos ambientes: arenal somero (espigón norte y centro) y laja con algas (espigón sur). El arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo y de ser resuspendido, la pluma de dispersión tendería a moverse hacia el norte siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998). Cuando las plumas están compuestas principalmente por sedimentos finos, la distancia que pueden recorrer varía de 1 a 4 km de distancia de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell 2004) y el tiempo de suspensión puede variar de 30 min a 1 hora (Newell *et al.*, 1999) incidiendo en la biota que fue registrada en el SAR sobre todo pastizales y gorgonáceos citados en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que la magnitud se determinó como media (0.6). No obstante, para evitar esta afectación se colocará una geomalla textil para retención de sedimento y se llevará a cabo la vigilancia del agua marina con el fin de verificar que las condiciones de turbidez del agua sean similares a las iniciales.



**Tabla 36.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: BIOTA MARINA.

Factor ambiental: BIOTA MARINA															
Retiro de espigones															
<b>BMes1.</b> Mortandad o daño de la biota aledaña debido a la resuspensión de sedimento por el retiro de los espigones al alterar su hábitat y disminuir su cobertura.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	3	1	1		20	0.61	0.6	0.36	M
<b>BMes2.</b> Mortandad o daño de la biota que habita sobre los espigones por el retiro de éstos.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	2	2	1	1		18	0.5	0.2	0.10	Cm
<b>BMes3.</b> Afectación de las zonas de alimentación de la Tortuga marina (pastos marinos) por la resuspensión de sedimento durante el retiro de los espigones.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	2	3	1	3	3	1	1		20	0.61	0.6	0.36	M

Debido a que los espigones fueron instalados en años anteriores, la biota se estableció en éstos pues han servido como refugio y sustrato para el establecimiento de especies. Con el retiro de éstos esta biota será afectada (BMes2, Istd=0.5). La magnitud de este impacto se definió considerando la flora y fauna presente en las zonas que serán retiradas. La biota que se detectó en estos espigones se encontró mayoritariamente en la parte más alejada de la playa, observándose, cardúmenes de peces refugiados en las oquedades formadas, algunas colonias de corales escleractinios y octocorales, así como esponjas y equinodermos. En la parte proximal la biota se caracteriza en su mayoría por algas, principalmente feofitas y clorofitas calcáreas. Tomando en cuenta que para la



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

instalación de los andadores piloteados se pretenden conservar las partes proximales como islotes y que son las zonas en donde la fauna se ubica la magnitud del impacto será muy baja (0.2)

Con el retiro de las rocas que conforman a los espigones se generará turbulencia, ocasionando así la resuspensión de sedimento en la zona y afectando de manera directa a la biota aledaña que se encuentra en la zona por incremento de turbidez o por ser cubiertas con el sedimento que se deposite ( $B_{Mes3}$ ,  $I_{std}=0.61$ ). La magnitud de este impacto se determinó considerando que, de acuerdo con la caracterización del ambiente descrita en el capítulo IV, los espigones se ubican en dos ambientes: arenal somero (espigón norte y centro) y laja con algas (espigón sur). El arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo y de ser resuspendido, la pluma de dispersión tendería a moverse siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998). Cuando las plumas están compuestas principalmente por sedimentos finos, la distancia que pueden recorrer varía de 1 a 4 km de distancia de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell, 2004) y el tiempo de suspensión puede variar de 30 min a 1 hora (Newell *et al.*, 1999) incidiendo en la biota que fue registrada en el SAR sobre todo gregonáceos y pastizales, por lo que la magnitud se determinó como media (0.6). No obstante, para evitar esta afectación se colocará una geomalla textil para retención de sedimento y se llevará a cabo la vigilancia del agua marina con el fin de verificar que las condiciones de turbidez del agua sean similares a las iniciales.

### Fase: Construcción

#### Factor ambiental: AGUA MARINA

Dado que se pretenden instalar tres andadores piloteados sustituyendo a los espigones que serán retirados, durante el hincado de los pilotes, se presentará nuevamente la resuspensión de sedimento ( $A_{Man1}$ ,  $I_{std}=0.55$ ). La magnitud de este impacto se determinó como media (0.6) tomando en cuenta que se instalarán 84 pilotes de 20 a 20 cm de diámetro y que se trata de sedimento fino de fácil resuspensión. No obstante, para evitar la dispersión de sedimento se colocará una malla geotextil alrededor de las obras fija al fondo mediante alcayatas y muertos



que se prolongue hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos.

**Tabla 37.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: AGUA MARINA.

Factor ambiental: Agua marina															
Construcción															
<b>AMan1.</b> Alteración de la calidad de agua debido a la resuspensión de sedimento incrementando la turbidez del sitio por el hincado de pilotes.															
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	1	3	3	1	1		19	0.55	0.6	0.30	M
<b>AMan2.</b> Alteración de la calidad de agua por posible contaminación debida a los residuos provenientes de la maquinaria y la construcción de los andadores.															
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	2	2	1	1		16	0.38	0.4	0.15	Cm

Debido a la presencia de personal y el uso de maquinaria, la calidad del agua puede verse afectada por contaminación debido a los desechos producidos por el personal o por algún derrame de la maquinaria (AMan2, Istd=0.38). La magnitud de este impacto se determinó considerando el tipo de residuos que serán producidos y la cantidad de personal laborando en el área. Se emplearán 15 personas para las acciones contempladas y los residuos producidos serán básicamente restos de comida o contenedores (envases, botellas, etc.). Por otro lado, el agua podría ser contaminada por el derrame de combustible de la maquinaria usada para la instalación de los pilotes si no se encuentra en buenas condiciones. Considerando lo antes expuesto la magnitud se determinó como baja (0.4), ya que se implementarán a cabo acciones para evitar la contaminación del



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

agua por los trabajadores o por la maquinaria, pues ésta será revisada previo a su uso y no se permitirá llevar a cabo el mantenimiento de ésta en el sitio. Además, se realizará una limpieza del área de trabajo para recolectar todos los residuos sólidos generados por la construcción del proyecto. Estos residuos serán llevados al hotel donde serán almacenados y llevados al sitio de disposición final. El hotel cuenta actualmente con una Programa de Residuos Sólidos y Urbanos, el cual seguirá llevándose a cabo. Aunado a lo anterior, se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame para evitar efectos adversos mayores de suceder algún incidente.

### Factor ambiental: FONDO MARINO

Con el hincado de pilotes para la instalación de los andadores, se ocasionará la resuspensión de sedimento en el sitio (FMan1,  $I_{std}=0.55$ ). La magnitud de este impacto se definió como media (0.6) tomando en cuenta que los andadores norte y centro se encuentran ubicados sobre una zona de arenal somero compuesto por sedimento muy fino de fácil resuspensión que puede viajar grandes distancias y que se pretende la colocación de 84 pilotes individuales 20 a 28 cm de diámetro por espigón.

**Tabla 38.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: FONDO MARINO.

Factor ambiental: Fondo Marino															
Instalación de andadores															
<b>FMan1.</b> Alteración de la calidad del sedimento por resuspensión del sedimento asociada a la turbulencia ocasionada por el hincado de pilotes para la instalación de andadores.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M		
(-)	3	2	2	3	1	3	3	1	1	19	0.55	0.6	0.30	M	
<b>FMan2.</b> Alteración de la calidad del sedimento por posible contaminación debida a los residuos provenientes de la maquinaria y el personal del sitio.															





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Factor ambiental: Fondo Marino															
											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Atributos															
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	3	3	1	1		18	0.5	0.2	0.10	Cm
<b>FMan3.</b> Modificación del lecho marino por la instalación de andadores piloteados.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	2	3	1	3	3	1	3		21	0.66	0.2	0.10	Cm

Debido a la presencia de personal y el uso de maquinaria, la calidad del sedimento marino puede verse afectada por contaminación por los desechos producidos por el personal o por algún derrame de la maquinaria (FMan2, Istd=0.5).

La magnitud de este impacto se determinó por el tipo de residuos que serán producidos y la cantidad de personal laborando en el área. La cantidad de trabajadores en el área será baja (15 personas), y los residuos producidos serán básicamente restos de comida o contenedores (envases, botellas, etc.). Por otro lado, el sedimento podría ser contaminado por el derrame de combustible de la maquinaria usada para la instalación de los andadores si no se encuentra en buenas condiciones. Considerando lo antes expuesto la magnitud se determinó como muy baja (0.2), ya que además se implementarán acciones para evitar la contaminación del agua por los trabajadores o por la maquinaria, pues ésta será revisada previo a su uso y no se permitirá llevar a cabo el mantenimiento de ésta en el sitio. No obstante, se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame para evitar efectos adversos mayores de suceder algún incidente.

Además de los efectos en sedimento, el fondo marino será modificado ya que se pretenden la instalación de pilotes para el soporte de los andadores, estos pilotes ocuparán un espacio en el fondo marino cambiando la conformación del mismo de manera local (FMan3, Istd=0.66). La magnitud de este impacto se determinó a



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

través del área que será modificada. Actualmente en el SAR se encuentra la marina del hotel asociado al proyecto y el muelle fiscal ocupando un área aproximada de 9.77 ha y 0.82 ha respectivamente, siendo en total 10.59 ha. El área que ocuparán los arrecifes artificiales será de 0.4186 ha. Por otro lado, los espigones tienen una longitud aproximada de 56 m y un ancho de 10 m, por lo que el área que ocupa cada espigón es alrededor de 560 m<sup>2</sup>. Se contempla la instalación de 84 pilotes circulares sobre un dado de concreto de 50 cm por 50 cm ocupando un área de 0.25 m<sup>2</sup> por pilote por lo que el área a ocupar por los 84 pilotes será alrededor de 21 m<sup>2</sup> por cada andador, ocupando los tres andadores contemplados, un área total de 63 m<sup>2</sup> (0.0063 ha). Además, el área que será ocupada por el relleno en la zona como se señaló anteriormente será de 0.787 ha. En suma, el área total de ocupación en el SAR considerando la infraestructura actual (10.59 ha) y el área ocupada por los arrecifes artificiales (0.4186 ha), los andadores piloteados (0.0063) y el relleno (0.787 ha) será de 11.8 ha por lo cual, si bien será un impacto permanente, el área de afectación representa un incremento de 1.21 ha lo que en total representa el 4.4 % del área total del SAR. Es por esto que, si bien será un impacto permanente y que en suma ocupará y modificará el fondo de manera local junto con el resto de los elementos considerados, el área alterada será baja.

### **Factor ambiental: BIOTA MARINA**

Con el hincado de pilotes para la instalación de los andadores, se ocasionará la resuspensión de sedimento afectando con ello a la biota que habita en el sitio (BMan1, I<sub>std</sub>=0.5) y posiblemente a la zona de pastizal mixto (BMan2, I<sub>std</sub>=0.61).

**Tabla 39.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: BIOTA MARINA.

Factor ambiental: Biota marina														
Construcción														
<b>BMan1.</b> Mortandad o daño de individuos debido a la resuspensión de sedimento por el hincado de pilotes.														
<b>Atributos</b>										<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>Valor de juicio</b>
<b>Signo</b>	<b>I</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>Rv</b>	<b>R</b>	<b>Pd</b>	<b>C</b>	<b>I</b>	<b>Istd</b>	<b>M</b>	<b>Istd*M</b>	
(-)	3	3	2	3	1	2	2	1	1	18	0.5	0.6	0.30	M
<b>BMan2.</b> Afectación a la zona de pastizal mxito que sirve como área de alimentación de las tortugas y refugio para otros organismos, por la resuspensión de sedimento durante la construcción de los andadores piloteados.														
<b>Atributos</b>										<b>Índice</b>		<b>Magnitud</b>	<b>Valor del impacto</b>	<b>Valor de juicio</b>
<b>Signo</b>	<b>I</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>Rv</b>	<b>R</b>	<b>Pd</b>	<b>C</b>	<b>I</b>	<b>Istd</b>	<b>M</b>	<b>Istd*M</b>	
(-)	3	3	2	3	3	2	2	1	1	20	0.61	0.4	0.24	M

La magnitud de este impacto se definió como baja (0.4) tomando en cuenta que aún cuando se colocarán 84 pilotes por cada espigón y que los andadores norte y centro se ubicarán sobre una zona de arenal somero compuesto por sedimento muy fino de fácil resuspensión que puede viajar grandes distancias, la capa de sedimento es delgada y siguiendo las corrientes tendería a moverse al sur en primera instancia en donde parte del sedimento podría ser retenido por la marina. El sedimento restante seguiría la corriente hacia el norte y en supaso podría alcanzar los pastizales, pero en mínima cantidad.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Fase: Operación y mantenimiento de andadores

#### Factor ambiental: AGUA MARINA

Durante la etapa de operación y mantenimiento de los andadores piloteados, las acciones de mantenimiento (e. g. restitución o compostura de algún elemento) y la presencia de los huéspedes del hotel pueden generar desechos (sólidos, orgánicos, etc.), lo que puede impactar en el agua de no tener cuidado y un buen manejo de los mismos (AMman1, Istd=0.5).

**Tabla 40.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: AGUA MARINA.

Factor ambiental: Agua marina															
Operación y mantenimiento															
AMman1. Alteración de la calidad de agua por posible contaminación debida a los residuos provenientes de los visitantes y los derivados del mantenimiento de los andadores.															
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	1	2	2	1	1		19	0.5	0.2	0.11	Cm

La magnitud de este impacto en el agua se definió como muy baja (0.2) considerando además que se implementarán medidas para evitar la afectación por residuos como el uso de contenedores con tapa en las inmediaciones del sitio, además de buen manejo del material usado para el mantenimiento y recolección de residuos en la zona, supervisión y vigilancia en cada acción. Es importante señalar que actualmente el hotel cuenta con un Programa de Manejo de Residuos Sólidos y Urbanos, que seguirá vigente y se tomará en cuenta en la realización de este proyecto.

#### Factor ambiental: FONDO MARINO



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Durante la etapa de operación y mantenimiento de los andadores piloteados, las acciones de mantenimiento (e. g. restitución o compostura de algún elemento) y la presencia de los huéspedes del hotel pueden generar desechos (sólidos, orgánicos, etc.), lo que puede impactar en el fondo de no tener cuidado y un buen manejo de los mismos (FMman1, Istd=0.5).

**Tabla 41.** Valoración de los impactos ambientales ocasionados en el factor ambiental: FONDO MARINO.

Factor ambiental: Fondo Marino															
Operación y mantenimiento															
FMman1. Alteración de la calidad de agua por posible contaminación debida a los residuos provenientes de los visitantes y los derivados del mantenimiento de los andadores.															
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	1	2	2	1	1		19	0.5	0.2	0.11	Cm

La magnitud de este impacto en el fondo marino se definió como muy baja (0.2) considerando, para evitar cualquier efecto en el fondo, se llevarán a cabo acciones para no contaminar el área. Actualmente el hotel cuenta con un **Programa de Manejo de Residuos Sólidos y Urbanos**, que seguirá vigente y se tomará en cuenta en la realización de este proyecto por lo que como parte de este programa y para evitar la dispersión de los residuos, se colocarán contenedores con tapa en las inmediaciones del sitio, además de buen manejo del material usado para el mantenimiento y recolección de residuos en la zona, y supervisión y vigilancia en cada acción.

### Factor ambiental: DINÁMICA COSTERA

La instalación de los andadores sustituyendo los espigones que actualmente existen, incidirá directamente en la dinámica costera, ya que los espigones son estructuras sólidas que no permiten la libre circulación del agua por esta zona,



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

mientras que los andadores piloteados son estructuras permeables. Uno de los impactos asociados a estas estructuras es la modificación del transporte litoral ( $DCman1$ ,  $DCman2$ ,  $Istd=0.72$ ) lo que implica un cambio en el aporte de sedimentos a la playa y con ello la morfología del perfil de la misma pues el balance de aporte y transporte de sedimentos se altera, ya que los andadores permitirán el libre flujo del agua.

**Tabla 42.** Valoración de los impactos ambientales para el factor ambiental DINÁMICA COSTERA.

Factor ambiental: Dinámica costera														
Operación y mantenimiento														
<b>DCman1.</b> Modificación del transporte litoral por la presencia de los andadores pues éstos permitirán el libre flujo de las corrientes y con ello de los sedimentos que acarrearán en su trayectoria natural.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	3	3	2	1	3	22	0.72	0.2	0.15	Cm
<b>DCman2.</b> Alteración del perfil de playa por la presencia de las estructuras pues éstas permitirán el paso del agua y de los sedimentos que acarrearán en su trayectoria natural.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	1	3	3	3	2	1	3	22	0.72	0.2	0.15	Cm

La magnitud de estos impactos se determinó con base en los resultados obtenidos de la modelación realizada en el área (Anexo II.1). Es de notar que las modelaciones numéricas permiten observar el funcionamiento no deseado de los espigones que actualmente se encuentran contruidos en sentido perpendicular a





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

la línea de costa. Estas obras retienen el transporte de sedimentos interrumpiendo el balance y la distribución natural y acentuando el déficit en las zonas de playa que quedan ente ellos y justo al lado de la marina. Adicionalmente, estas obras concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa provocando mayor transporte en sentido transversal y facilitando la pérdida de volumen de sedimento en la playa seca. Ante ello se concluye que estos espigones, pensados originalmente para favorecer la estabilidad de la playa, dadas las condiciones sedimentológicas e hidrodinámicas actuales, están deteriorando la playa en lugar de mantenerla saludable. Es por esto que se llevará a cabo la sustitución de estas estructuras por los andadores piloteados, los cuales serán permeables sin que ello signifique un cambio que altere de manera sustancial la dinámica dentro del SAR ya que se circunscribe al área del proyecto sin tener efectos en éste o en los arrecifes. Ante esto la magnitud se determinó como muy baja (0.2). Cabe mencionar que esta modificación en la dinámica costera traerá consigo beneficios para la playa ya que ayudará la recuperación de la misma disminuyendo la fuerza del oleaje.

### **Factor ambiental: Paisaje**

Con la instalación de los andadores el paisaje será modificado, lo cual será un impacto permanente ( $P_{man1}$ ,  $I_{std}=0.78$ ). Sin embargo, dado que estos andadores serán ubicados donde actualmente se encuentran los espigones la magnitud del efecto en el paisaje será muy baja (0.2), además de que la zona en la que se pretende llevar a cabo el proyecto se encuentra previamente impactada por actividades turísticas.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 43.** Valoración de los impactos ambientales para el factor ambiental: PAISAJE

Factor ambiental: Paisaje														
Operación y mantenimiento														
Pman1. Alteración de la incidencia visual en el paisaje de la zona debido a la presencia de estructuras artificiales.														
Atributos											Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	1	3	3	3	3	1	3	23	0.78	0.2	0.16	Cm

### V.5 Descripción de los impactos ambientales.

Después del análisis realizado anteriormente en donde se describieron y evaluaron los impactos potenciales derivados de la ejecución del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” se valoraron un total de 55 impactos de los cuales 35 fueron compatibles y 20 moderados. Los factores ambientales que fueron susceptibles de recibir impactos de mayor significancia son la biota marina, el agua y el fondo marino. Con base en esto se presenta a continuación la descripción de los impactos valorados como moderados, ya que son los que implican un efecto mayor sobre el ambiente.

**Tabla 44.** Descripción de los impactos ambientales valorados como moderados ocasionados por la ejecución del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”.

Impacto ambiental	
Factor ambiental: BIOTA MARINA	
BMro1. Pérdida de hábitat debido a la Instalación de las estructuras lo que disminuye el área natural en la zona.	
Valor del impacto: 0.16	Moderado
Descripción.	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

El área que será afectada por la instalación de las estructuras son en total 0.4186 ha, de las cuales la estructura 3 es la de mayor tamaño (0.1968 ha). El total de afectación de estas estructuras (0.4186 ha) corresponde al 0.15 % del área total del SAR (267.37 ha), por lo que se trata de un área muy pequeña de afectación. Además de esto, los arrecifes artificiales serán un sustrato en el cual las especies puedan colonizar y establecerse pues se ha observado que los arrecifes artificiales pueden proveer hábitats favorables para productores primarios y secundarios y como zona de crianza para algunos peces, sin presentar impactos adversos en la distribución o abundancia de macrozoobentos o peces (Manny *et al.*, 1985). En adición a esto Burt, *et al.* (2011) encontraron que las comunidades bentónicas que se establecen en los arrecifes artificiales tienden a ser más similares a los arrecifes naturales con el tiempo (ca.31 años) pero que aún las comunidades más maduras son distintas a las de los arrecifes naturales. Estos autores mencionan que arrecifes artificiales  $\leq 5.5$  presentaron una mayor abundancia de algas, esponjas, bivalvos y sustrato vacío, mientras los más antiguos ( $\geq 25$  años) estuvieron dominados por corales. La cobertura de coral en arrecifes artificiales entre 25 y 31 años de antigüedad (46% y 56% respectivamente) fue significativamente más alta que los arrecifes naturales (37%).

Por otro lado, con el retiro de los espigones que actualmente se ubican en el área y la instalación de los andadores piloteados se tendrá espacio libre para el reclutamiento de individuos. Los espigones tienen una longitud aproximada de 56 m y un ancho de 10 m, por lo que el área que ocupa cada espigón es alrededor de 560 m<sup>2</sup>. Se contempla la instalación de 84 pilotes circulares un dado de concreto de 50 cm por 50 cm ocupando un área de 0.25 m<sup>2</sup> por pilote y 21 m<sup>2</sup> en total por andador, por lo que el área que se dejará libre será de 539 m<sup>2</sup> por cada espigón. Ante esto si bien habría pérdida de hábitat en el fondo marino, estas estructuras y la liberación de nuevos espacios por el retiro de espigones minimizará el efecto en el hábitat.

**BMro2.** Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por daño directo.

Valor del impacto: 0.31

Moderado



**Impacto ambiental**

**Descripción**

De acuerdo con el diseño de las estructuras y la caracterización del ambiente marino (capítulo IV), las estructuras del sur (2, 3 y 4) se localizarán en un ambiente de laja con algas. Éste se caracteriza por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición (de 58 a 78 %). La mayoría de este tipo de ambiente tiene presencia del alga roja de la especie *Amphiroa rigida*, seguida del alga verde carnosa *Rhipilia tomentosa*, y el alga verde calcárea de la especie *Halimeda tuna*. En la estructura 4 la variedad de especies que componen la vegetación marina es alta, siendo dominantes las algas rojas del género *Dasya* y la especie *Acanthophora spicifera*; también es importante la presencia de algas verdes de crecimiento erecto como son las de los géneros *Halimeda*, *Penicillus* y *Rhipilia*. Los gorgonáceos en la E2 y E3 son colonias de tamaño mediano. En la E2, dominan los géneros *Plexaurella*, *Eunicea* y *Pseudoplexaura* y en la E3 *Gorgonia*, y ausentes en la E4. Los corales son más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de varios tamaños, la mayoría de forma incrustante, pero algunas masivas, muchas de las cuales presentaron daño por sedimentación y mortalidad parcial, y también se registraron varias colonias de tamaño mediano del coral cerebro de la especie *Pseudopterogorgia clivosa*. En cuanto a los corales en la E2 los corales son más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de varios tamaños, la mayoría de forma incrustante, pero algunas masivas, muchas de las cuales presentaron daño por sedimentación y mortalidad parcial, y también se registraron varias colonias de tamaño mediano del coral cerebro de la especie *Pseudodiploria clivosa*. En la E3. Los corales son mucho más abundantes en este sitio, encontrando varias colonias de *Siderastrea siderea* de tamaño mediano (30 cm de diámetro aprox.) y presencia de algunas colonias de coral cerebro del género *Pseudodiploria*, mientras que en la E4 los corales son escasos.

Respecto a los pastos marino como se ha mostrado en la caracterización marina realizada en el sitio (capítulo IV y Anexo IV.1), el ambiente de pastizal mixto ocupa un área extensa (42.67 ha) y homogénea en el SAR fuera del área de afectación directa por la instalación de los arrecifes artificiales, la cual no será impactada

### Impacto ambiental

por este proyecto. Es de suma relevancia mencionar que previo a la propuesta final de ubicación de los arrecifes artificiales que se presenta en este MIA-R se consideraron dos alternativas de ubicación distintas previas, sin embargo, debido a que en éstas si se afectaba de manera directa al pastizal en superficies de más de 30 m, la ubicación propuesta en primera y segunda instancia de los arrecifes artificiales fue modificada a fin de evitar alterar el pastizal. Es así que la propuesta final que se presenta en este documento es la mejor alternativa no sólo en términos de impactos a la biota sino atambién de funcionalidad, pues de acuerdo con el estudio técnico de ingeniería de ser ubicados en otro sitio ya no cumplirían con la función de reducir la energía del oleaje para la recuperación de la playa.

La afectación a este ambiente será de 0.3357 ha, lo que corresponde a 0.58 % del ambiente de laja con algas (57.26 ha) y al 0.12 % del área total del SAR (267.37 ha). Cabe mencionar que en el muestreo de la estructura cuatro se registró la especie de gorgonáceo *Plexaura homomalla* citada en la NOM- 059-SEMARNAT-2010, sujeta a protección especial. Al respecto esta especie presentó una abundancia rara (menos del 1%) y únicamente en la época de secas. Asimismo, se detectó la presencia de tres especies de peces en categoría de protección especial con base en la modificación al anexo normativo III de la norma, siendo: *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae* con abundancias variables en las estructuras.

La estructura del norte (1) será instalada sobre laja con sedimentos. El ambiente presenta una dominancia de algas rojas de las especies *Acanthophora spicifera* y *Dasya ocellata*, seguido de algas verdes de los géneros *Halimeda* y *Avrainvillea*. Se registraron algunos ejemplares de gorgonáceos, con dominancia de la especie *Pterogorgia anceps* de tamaño mediano, y algunos ejemplares de colonias pequeñas y dispersas de coral de la especie *Siderastrea siderea*. Las colonias de coral de la parte perpendicular de esta estructura se observaron de color muy oscuro, con una incidencia de mortalidad reciente del tejido mayor al 50%, lo que puede ser un efecto de los lixiviados generados por el arribazón excesivo del alga marina. El ambiente de laja con sedimentos está cubierto por una capa de sedimento muy fino que no tiene más de 5 cm de grosor. La



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impacto ambiental	
<p>estructura uno ocupará un área de 0.0828 ha, lo que equivale a una afectación del 0.14 % del ambiente de laja con algas, del 5 % del de rocas con algas y del 0.03 % del SAR.</p>	
<p><b>BMro3.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por resuspensión de sedimento.</p>	
<p>Valor del impacto: 0.31</p>	<p>Moderado</p>
<p><b>Descripción</b></p> <p>De acuerdo con el diseño de las estructuras y la caracterización del ambiente marino, las estructuras del sur (2, 3 y 4) se localizarán en un ambiente de laja con algas. La estructura del norte (1) ocupará el ambiente de laja con sedimentos y algas formando una capa de no más de 5 cm. El sedimento encontrado en la zona es de fácil resuspensión con alto contenido de carbonato (95.90%, Carranza- Edwards et. al.,2015). Cabe mencionar que se detectó la presencia de cuatro especies en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación del anexo normativo III de la misma (DOF, 14/11/2019): los gorgonáceos <i>Plexaura homomalla</i> en protección especial en la estructura cuatro presentando una abundancia rara (menos del 1%) y únicamente en la época de secas. Asimismo, los peces <i>Scarus iseri</i>, <i>Sparisoma radians</i> y <i>Sparisoma viridae</i> fueron registradas en las estructuras con abundancia variable. Los pastos marinos <i>S. filiforme</i> y <i>T. testudinum</i> fueron registradas en las cuatro estructuras únicamente en época de lluvias. No obstante, <b>con el cambio de posición, durante la época de secas ya no se registró ninguna especie de pasto marino en los sitios de instalación de las estructuras.</b></p> <p>Basándose en las corrientes del sitio la pluma de dispersión tendería a dirigirse hacia el sur por la contracorriente y retornaría siguiendo un giro hacia el norte (Merino 1986, Suárez-Morales y Rivera-Arriaga 1998) en donde se encuentran pastizales y laja con algas, no obstante, la pluma de sedimento será muy baja dada la cantidad de sedimento en el área de afectación y en zonas aledañas. Sin embargo, para evitar que el sedimento resuspendido se disperse a otras zonas e impacte en la biota (citada o no en la NOM-059-SEMARNAT-2010), se colocará</p>	





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

una malla geotextil, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez. Para determinar esto, se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras con el fin de verificar que el agua presente las mismas condiciones de turbidez que las iniciales.

**BMro6.** Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a las acciones contempladas para instalar las estructuras

Valor del impacto: 0.33

Moderado

**BMro9.** Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a la instalación de las estructuras

Valor del impacto: 0.34

Moderado

### Descripción

En la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales se ha registrado anidación de tortugas marinas. Dado que estas estructuras serán colocadas frente a la playa del hotel asociado al proyecto, éstas podrían fungir como obstáculos para el libre paso de estos organismos hacia las playas de anidación y su regreso a la playa durante el proceso de instalación y aún más en la etapa de operación de los arrecifes artificiales. De acuerdo con la información obtenida, en el área del proyecto se registró la presencia de tres especies de tortugas marinas, *Caretta caretta* (caguama), *Chelonia mydas* (verde o blanca) y *Eretmochelys imbricata* (carey) que arriban a la zona para anidar.

Actualmente, los principales registros y estudio de las poblaciones de tortugas marinas que anidan en Quintana Roo son coordinados por el trabajo de investigación y monitoreo que realiza la asociación civil Flora, Fauna y Cultura de México, A. C. a través del Programa de Conservación de Tortugas Marinas Riviera Maya-Tulum, en coordinación con el Comité Estatal para la Protección, Investigación, Conservación y Manejo de Tortugas Marinas y en alianza con instancias gubernamentales y centros de investigación nacionales e internacionales. De acuerdo con esta asociación civil, son 13 las playas de mayor



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

densidad de anidación de México cubriendo un total de 35.4 kilómetros de litoral costero de Quintana Roo. Estas playas se caracterizan por la alta concentración de nidos por metro cuadrado, llegando a encontrar un máximo de cuatro a seis nidos en un metro cuadrado de playa ([www.florafauaycultura.org](http://www.florafauaycultura.org)). La asociación Flora, Fauna y Cultura de México A. C. protege a las tortugas marinas en las playas de: Solidaridad, Xel-Há, Cozumel y Tulum; así como cuatro áreas naturales protegidas de Quintana Roo: el Santuario de la Tortuga Marina Xcacel-Xcacelito, Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano, Parque Nacional Tulum y Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. La protección de las 13 playas de anidación se realiza a través de cinco campamentos tortugueros: Aventuras-DIF, Xcacel, Xel-Há, Kanzul y Caahpechén ([www.florafauaycultura.org](http://www.florafauaycultura.org)).

Con base en la información presentada, es posible mencionar que la playa, frente donde se ubicarán los arrecifes artificiales, no forma parte de las playas principales de anidación de tortugas marinas (Briseño y Abreu, 1998, [www.florafauaycultura.org](http://www.florafauaycultura.org)). Sin embargo, el hotel cuenta con el “Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”, que fue reconocido en el 2015 por el Comité Estatal de Tortugas Marinas de Quintana Roo y el Parque Nacional de Arrecifes de Puerto Morelos – CONANP, por lo que el Hotel se suma cada año a las actividades del Programa de Protección de Playas y Anidación de tortugas Marinas del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos para la protección de estos organismos.

A partir de datos obtenidos del programa del hotel, se observó que la anidación de tortugas a la zona es escasa con un promedio de cinco nidos /temporada en un área aproximada de 1.74 ha (17,400 m<sup>2</sup>) desde el muelle fiscal hasta la marina, con preferencia especial de la región ubicada frente al hotel asociado al proyecto, lo que implicaría una densidad de nidos muy baja respecto a las playas de importancia mencionadas anteriormente. Dentro del SAR se ha observado que la zona principal de anidación de tortugas se ubica desde la escollera de la marina hasta Punta Brava siendo la más importante ésta última.

La baja densidad de nidos puede estar asociada al proceso de erosión que se ha presentado con un consecuente retroceso de la línea de costa como se



### Impacto ambiental

muestra en el estudio técnico realizado en la zona (Anexo II.1), alterando así las características de la playa aunado al desarrollo turístico que se ha incrementado, pues se ha visto que *C. caretta* y *C. mydas* presentan un mayor éxito de anidación y eclosión en playas naturales sin ningún tipo de infraestructura (Pike 2008). La pérdida de playa en la zona, la modificación del perfil y la amplitud de la misma son factores que también podrían afectar la anidación. Se ha observado que *C. mydas* y *E. imbricata* anidan en la zona supralitoral en playas amplias y estables o mesolitoral (límite de la marea alta y la marea baja) cuando las playas son de poca amplitud, siendo menor su anidación en zonas erosionadas y donde existen estructuras (espigones, arrecifes artificiales). La tortuga Carey, anida principalmente en la zona baja de la playa aumentando el riesgo de pérdida de nidos (Piedra-Castro y Morales-Cerda 2015). Uno de los factores que incide en la disminución de nidos en las playas es la erosión de playa, la pérdida de longitud de playa y aumento de pendiente de ésta, provoca que la tortuga encuentre un obstáculo y efectúe un mayor esfuerzo para depositar sus huevos fuera de la zona intermareal. Al no poder superar estas pendientes, se ven obligadas a desovar en zonas afectadas directamente por mareas y oleaje, perdiendo la totalidad de los nidos, y quizás opten por buscar otras playas (Bolongaro Crevenna *et al.*, 2010).

Las estructuras que serán instaladas, representarán una barrera para las hembras en su paso hacia las áreas de anidación y en su regreso a mar abierto. De acuerdo con Bolongaro Crevenna, *et al.*, (2010) la presencia de infraestructura antropogénica (espigones y tetrápodos perpendiculares y paralelos a la costa respectivamente) afecta la anidación de las tortugas marinas al encontrarse un menor número de anidaciones en los sitios de playa con la presencia de esta infraestructura, pues se presenta un desplazamiento de las hembras a otras zonas para evitar las estructuras. Esto sucede posiblemente a que estas obras marítimas obligan a estas especies a recorrer grandes trechos paralelos a la costa o finalmente regresar al mar y anidar en sitios menos aptos en otros tramos más alejados de playa por el bloqueo del acceso para arribar a la playa, causando que estas aniden en otros sitios menos aptos para realizarlo y posiblemente con una menor probabilidad de sobrevivencia (Márquez 1996, Bolongaro Crevenna, *et al.*, 2010).

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

Los arrecifes artificiales podrían representar una barrera, no obstante, se trata de estructuras que tendrán una separación entre cada una de ellas permitiendo el paso de los organismos. Las estructuras que se encuentran al sur tendrán alrededor de 140 m de distancia entre ellas y éstas entre la estructura del sur de 620 m, por lo que esta discontinuidad permitirá el paso de los organismos. Aunado a esto como se señaló previamente, la cantidad de anidaciones es muy baja pues la playa frente al hotel no se considera una zona de alta densidad de nidos ni en el estado ni dentro del SAR.

En otras playas con arrecifes artificiales segmentados a base de tubos de geotextil rellenos con arena en el área marina, el crecimiento de la playa se ha visto favorecido ya que estas estructuras generan zonas de calma relativa que permiten que el material vertido no se pierda, como en el caso del Hotel Bahía Príncipe Tulum o el Hotel Luxury Bahía Akumal con la presencia de geotubos y en cuya playa la anidación de tortugas en las fechas del inicio del proyecto en el año 2000 registró un número menor a 100 nidos de tortugas. Para el año 2015 se reportó un incremento en la cantidad de nidadas; con el registro más alto de los últimos 20 años: 1,864 nidos protegidos con 146,096 crías liberadas (Nota tomada de la Fundación Ecológica Akumal para el año 2015 (<https://sipse.com>)). Esto muestra que en esta zona los quelonios pueden evadir o cruzar las estructuras como arrecifes artificiales.

**BMre4.** Afectación de las zonas de alimentación de la tortuga (pastos marinos y que también sirven de refugio para otras especies) por la resuspensión de sedimento durante las acciones de vertido de arena.

Valor del impacto: 0.36

Moderado

#### Descripción

Dentro del SAR se identificó una zona de pastizal mixto ocupando un área de 42.67 ha. El proyecto pretende el vertido de 10 400 m<sup>3</sup> para incrementar en 10 m el ancho de playa seca. Este material será similar al de la playa receptora siendo arena media. De acuerdo con la caracterización marina realizada en el SAR, la



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impacto ambiental	
<p>pluma de dispersión podría afectar áreas cubiertas por laja con algas, pastizal mixto y gorgonáceos siguiendo la corriente predominante.</p> <p>Durante el relleno de la playa se produce alta turbidez en la proximidad de la zona de liberación y desaparece algunas horas después de la operación. Entre el 97 y 99% del sedimento suspendido es depositado a algunas decenas de metros del punto de descarga (Nicoletti <i>et al.</i>, 2006). No obstante, la duración del efecto es significativamente menor y las comunidades se recuperan a niveles similares en algunos meses (Van Dolah <i>et al.</i> 1983, Green 2002).</p>	
<p><b>BMes3.</b> Afectación de las zonas de alimentación de la Tortuga marina (pastos marinos) por la resuspensión de sedimento durante el retiro de los espigones.</p>	
Valor del impacto: 0.36	Moderado
<p><b>BMan2.</b> Afectación a la zona de pastizal mixto que sirve como área de alimentación de las tortugas y refugio para otros organismos, por la resuspensión de sedimento durante la construcción de los andadores piloteados.</p>	
Valor del impacto: 0.24	Moderado
<p><b>Descripción</b></p> <p>Dentro del SAR se identificó una zona de pastizal mixto ocupando un área de 42.67 ha. Con el retiro de las rocas que conforman a los espigones y el hincado de pilotes se generará turbulencia, ocasionando así la resuspensión de sedimento en la zona y afectando de manera directa a la biota aledaña que se encuentra en la zona por incremento de turbidez o por ser cubiertas con el sedimento que se deposite. De acuerdo con la caracterización del ambiente descrita en el capítulo IV, los espigones se ubican en dos ambientes: arenal somero (espigón norte y centro) y laja con algas (espigón sur). El arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo y de ser resuspendido, la pluma de dispersión tendería a moverse siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998). Cuando las plumas están compuestas principalmente por sedimentos finos, la distancia que pueden recorrer varía de 1 a 4 km de distancia de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell 2004) y el tiempo de suspensión puede</p>	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

variar de 30 min a 1 hora (Newell *et al.*,1999) incidiendo en la biota que fue registrada en el SAR sobre todo algas y pastizales marinos, siendo éstos últimos importantes como alimento de tortugas (verde) además de servir de refugio y alimento para otras especies. No obstante, para evitar esta afectación se colocará una geomalla textil para retención de sedimento y se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina.

**BMro10.** Afectación al libre paso de las crías de tortuga marina debido a la presencia de las estructuras impidiendo su llegada a mar abierto e incrementando su probabilidad de mortandad.

Valor del impacto: 0.35

Moderado

### Descripción

Como se señaló antes, en la playa el arribo de tortugas es escaso, por lo que el número de crías que eclosionan en el sitio es asimismo muy bajo (de 137 a 337 crías/ temporada en promedio para las especies de tortuga que arriban a la zona). No obstante, estas estructuras podrían generar efectos en las crías recién eclosionadas en su viaje hacia mar abierto, pues representarán barreras en su nado ocasionando que cambien de dirección en busca de paso libre, incrementando con ello, el tiempo en aguas someras lo que a su vez aumenta la probabilidad de ser depredadas y no tener éxito para alcanzar mar abierto.

El sistema de orientación de las crías debe ser capaz de dirigitas desde cualquier tipo de playa hacia mar abierto. Las crías emplean dos sistemas independientes de orientación de manera secuencial usando diferentes señales. En tierra buscan alejarse de zonas iluminadas y dirigirse a horizontes amplios. Cuando el contacto visual con la tierra es perdido, las crías mantienen su orientación en el mar a un ángulo fijo relativo a las olas (Lohman y Wykenen 1990) y después al campo magnético (el vector de dirección es determinado durante su paso por la playa a través de la elevación del horizonte y las olas de aguas someras refractadas por lo que se alejan de siluetas elevadas y nadan hacia las olas cercanas a la playa) (Salmo y Weneken 1994, Fuxjager *et al.*2011). La dirección de la propagación de las olas son señales de orientación a mar abierto para las crías





### Impacto ambiental

y nadan hacia ellas más allá de 18 km y son capaces de cambiar la dirección para rodear obstáculos pequeños (Lohman y Wykenen, 1990). Encontrarse con obstáculos como los arrecifes artificiales podría incrementar el tiempo de nado en aguas someras en su búsqueda de paso libre hacia mar abierto, incrementando su tasa de mortalidad (5% cada 15 min) si permanecen mucho tiempo en aguas someras ( $3 \pm 1.1$  m) (Whelan y Wyneken 2007). Sin embargo, se observa mayor depredación en zonas someras con sustratos duros naturales que sobre arena, mientras que en arrecifes artificiales sumergidos no hay depredación (Glenn 1996). La depredación disminuye una vez que están a profundidades mayores a 10 m. Una vez en el agua la circulación del agua y el nado de los tortuguillos controla la dispersión de los mismos. Al tocar el mar se orientan perpendicularmente hacia las olas y su dispersión está determinada por los patrones de circulación para reducir el riesgo de depredación y mantenimiento de energía (Hamanna, *et al.*, 2011). Dadas las características del oleaje en el SAR, las crías en su nado al mar podrían encontrarse con los arrecifes artificiales, sin embargo, estas estructuras contarán con espaciamiento entre ellas lo que podría disminuir el efecto en las crías, aunado a que no se trata de una playa registrada de alta anidación y la zona frente al hotel, asociado al proyecto, no se ubica en la región de presencia de anidación para las tortugas dentro del SAR.

Por otro lado, también se ha observado que olas grandes y corrientes oceánicas frecuentemente impiden a las crías en su nado inicial, escapar a mar abierto (Whelan y Wyneken 2007). Tomando en consideración lo anterior, la instalación de los arrecifes artificiales en esta zona tiene como objetivo disminuir la fuerza de las olas que ingresan a la playa para reducir la erosión que existe en el área y con ello el retroceso de la línea de costa que se ha observado a lo largo de los años. Esta disipación de energía de las olas podría favorecer el nado de las crías hacia mar abierto al disminuir la fuerza de las olas y no su dirección como se muestra en el estudio realizado en el área (Anexos II.1 y II.1.1), la cual como se mencionó anteriormente es importante para la orientación de las crías.

Con el fin de reducir al máximo el riesgo hacia las crías, de encontrarse nidos frente a los arrecifes artificiales, éstos serán reubicados en la zona de playa que



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

no se encuentre protegida por las estructuras en la zona preferencial de anidamiento (entre la escollera de la marina el Cid y Punta Brava). Los nidos serán marcados protegidos hasta la eclosión de las crías. Estas acciones serán integradas, de no estar ya consideradas, al **Programa de Manejo de Tortuga El Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo** que actualmente lleva a cabo el hotel.

**BMre1.** Mortandad o daño de las especies silvestres por enterramiento debido a la disposición de arena para la recuperación de la playa.

Valor del impacto: 0.32

Moderado

### Descripción

Con el fin de rehabilitar la playa, se pretende el uso de 10, 400 m<sup>3</sup> de sedimento para el relleno de la playa con el fin recuperar los diez metros que ésta ha perdido por efecto de la erosión. Con base en el área que se pretende rellenar y el estudio de caracterización marina del SAR, los ambientes que serán afectados en el lote sur serán roca con algas, arenal somero y laja con sedimento, mientras en el norte, arenal somero y laja con algas. En la siguiente tabla se presentan las características de cada tipo de ambiente.

Polígono norte	
Laja con algas	Se caracteriza por un sustrato de laja cubierto por una capa de macroalgas, que varía en cuanto a su densidad y composición. La mayoría de este tipo de ambiente tiene presencia de algas verdes calcáreas de crecimiento erecto, La presencia de gorgonáceos y corales escleractinios es escasa.
Polígono norte y sur	
Arenal somero	Este sustrato presenta variaciones en la composición del sedimento, encontrando arena de grano fino y mediano en el arenal somero que



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impacto ambiental		
		se encuentra a 100 metros de la costa; mientras que el arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo. En ambos casos, no se registró biota marina sésil.
<b>Polígono sur</b>		
Roca con algas		Este ambiente es un sustrato rocoso, con crecimiento de algas verdes.
Laja con sedimento		En este ambiente, el sustrato de laja está cubierto por una capa de sedimento que no tiene más de 5 cm de grosor, con presencia moderada de vegetación marina (algas y pasto marino) y gorgonáceos poco densos. La composición de la vegetación que se encuentra en estos sitios es muy variada, y va desde prácticamente nula, hasta parches monoespecíficos, de algas verdes o rojas. Los corales son muy escasos.
Invertebrados		Se registraron organismos pertenecientes a 7 diferentes grupos, tales como anélidos, anémonas, coralimorfos, crustáceo, equinodermos, esponjas y moluscos. El grupo mejor representado fue el de las esponjas, con 15 especies presentes. La mayor cantidad de especies registradas fue 15 y se registró en el ambiente de Laja con algas y gorgonáceos, mientras que en el arenal somero y rocas con algas no se registró ningún organismo. Cabe destacar que <i>L. gigas</i> estuvo presente en el ambiente de laja con algas y laja con sedimento, aunque en un número muy bajo ya que su presencia fue escasa (menor al 5%).

Observando la información antes mostrada, en la zona de afectación si bien existe biota que la habita (con excepción del arenal somero), son organismos



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

que no están enlistados en la NOM-059-SEMARNAT-2010 por lo que no se encuentran en algún estatus de riesgo. Por otro lado, el área de afectación de estos ambientes será baja como se muestra en la tabla.

Polígono	Frente de playa (aproximado)	Superficie de relleno considerando el frente de playa y diez metros de recuperación de playa)	
Norte	207m	2,070 m <sup>2</sup>	0.3300 ha
Sur	580 m	5,800 m <sup>2</sup>	0.5790 ha
<b>Total</b>	<b>787m</b>	<b>7,870 m<sup>2</sup></b>	<b>0.7870 ha</b>

Ambiente	Área total en el SAR
Laja con algas	57.26 ha
Laja con sedimento	6.99 ha
Roca con algas	1.66 ha
Arenal somero	13.23 ha
<b>Total</b>	<b>79.14 ha</b>

En total se impactarán 0.787 ha lo que representa 1 % del total del área cubierta por los ambientes afectado en el SAR (79.14), que junto con la instalación de los espigones y los andadores piloteados se afectarán 1.21 ha del área total del SAR, lo que representaría el 0.44 %. Esto muestra que la superficie que será ocupada



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

representa un porcentaje bajo respecto al área del SAR. Si bien los procesos marinos no son lineales, las dimensiones (largo, ancho, altura) y disposición de los AA son elementos importantes para determinar el efecto que pueden presentar en el área, el cual será local como se muestra en el estudio técnico presentado en el anexo II.1. Además, es importante mencionar que con el retiro de los espigones y su cambio por andadores piloteados se dejará libre el área para el establecimiento de nuevos individuos, compensando en cierta medida la pérdida de área y biota en la zona.

**BMre2.** Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la resuspensión de arena cuando se lleve a cabo el relleno de la playa.

Valor del impacto: 0.36

Moderado

#### Descripción

La biota aledaña puede sufrir afectaciones por el sedimento suspendido cuando se realice el relleno, debido al transporte de sedimento recién colocado por las corrientes, aunque se ha visto que el efecto es menor que el observado durante otras actividades (e. g. dragado).

El proyecto pretende el vertido de 10 400 m<sup>3</sup> para incrementar en 10 m el ancho de playa seca. Este material será similar al de la playa receptora siendo arena media. Cabe mencionar que el vertido de arena en la playa será llevado a cabo una vez que los arrecifes artificiales sean construidos, por lo que parte del sedimento será retenido por estas estructuras. Una vez vertida la arena, la pluma de dispersión seguirá su trayectoria de acuerdo con la hidrodinámica del SAR, esto es, oleaje E, ESE en condiciones de calma, contracorriente norte-sur y giros hacia el norte cuyo flujo resultante se dirige hacia la costa (Merino1986, Suárez-Morales y Rivera-Arriaga 1998), por lo que afectaría en su paso a los ambientes encontrados en el SAR particularmente la zona de pastos marinos y al de laja con gorgonáceos. No obstante, se ha observado que durante el relleno de la playa se produce alta turbidez en la proximidad de la zona de liberación y desaparece algunas horas después de la operación. Entre el 97 y 99% del sedimento suspendido es depositado a algunas decenas de metros del punto de descarga (Nicoletti, *et al.*, 2006), pero la duración del efecto es significativamente menor y



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

las comunidades se recuperan a niveles similares en algunos meses (Van Dolah *et al.* 1983, Green, 2002). El necton es altamente móvil y puede dejar las áreas de afectación fácilmente (Green, 2002; Wilber, *et al.* 2003) por lo que para este grupo son efectos de corto plazo. Ante lo expuesto la magnitud se determinó como media (0.6). Como medida de prevención para evitar cualquier afectación a la biota, se colocará una malla geotextil antidispersión de finos y se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras con el fin de verificar que el agua presente las mismas condiciones de turbidez que las iniciales.

**BMre3.** Alteración del hábitat de anidación de la tortuga marina debido a la disposición de arena para la regeneración de la playa

Valor del impacto: 0.33

Moderado

#### Descripción

Dado que las playas de Quintana Roo son áreas importantes de anidación de tortugas marinas, éstas podrían ser afectadas por la alimentación de la playa con sedimento modificando así su hábitat.

En una playa alimentada, la arena tiende a estar compactada, reduciendo la calidad del hábitat de anidación. La compactación altera la temperatura de la arena y los niveles de humedad, evitando que las tortugas marinas adultas construyan exitosamente sus nidos y se afecte el proceso de incubación de los huevos (Choi y Eckert 2009).

Los expertos siguen debatiendo si la alimentación de las playas afecta el comportamiento de anidación de las tortugas marinas (Davis *et al.* 1999). Algunos autores (Steinitz *et al.*, 1998; Rumbold *et al.*, 2001) han publicado datos que demuestran que el número de nidos disminuye y el número de rastros falsos (intentos de anidación fracasados) se incrementa inmediatamente después de la alimentación de la playa. Crain *et al.* (1995) concluyeron que, si bien los proyectos de regeneración pueden mejorar algunas áreas de anidación, en general los efectos (para las tortugas marinas) son negativos. En una evaluación realizada en el sureste de Florida, Wanless y Maier (2007) atribuyeron el fracaso





### Impacto ambiental

generalizado de los proyectos de alimentación de playas, entre otras cosas, a la falta de material adecuado y asequible en las cercanías. El reemplazo de los sedimentos en general, mostró un tamaño de grano, una durabilidad y un comportamiento inadecuado para el establecimiento de una playa. Las arenas procedentes del dragado de la plataforma adyacente, contenían excesivas cantidades de arena fina y limo y materiales particulados demasiado pequeños como para permanecer en la playa. Como consecuencia, los corales y el hábitat del fondo duro de la angosta plataforma adyacente fueron estresados por presentar un incremento de la turbidez por los sedimentos, salinización y asfixia para los organismos.

Además del ancho de la playa y la pendiente, la distribución del tamaño de grano del sedimento es importante para el éxito o fracaso de las nidadas y la eclosión de los huevos. Se ha confirmado que las playas que poseen un porcentaje mayor de arena media que fina o gruesa facilita la anidación en dos formas: 1) proveen una playa relativamente seca y 2) proveen mayor facilidad para cavar los nidos. (Shraban, *et al.*, 2014). En el caso de *E. imbricata* y *C. mydas*, el mayor número de nidos se ubican en zonas asociadas con textura de sedimentos de tamaño medio, debido a que esta característica sedimentológica mantiene las condiciones de humedad y temperatura dentro de la cámara de incubación para un mayor éxito de eclosión de crías de tortugas marinas. Dichas variables demuestran tener una importante influencia en la sobrevivencia y eclosión de tortugas marinas como lo han indicado algunos autores (Torrey 1978; McGehee 1979; Arzola y Armenta 1994). La menor frecuencia de anidación en sitios asociados con arenas gruesas y finas se puede explicar porque en estas texturas de sedimentos las condiciones de humedad y temperatura no llegan a mantenerse constantes (Morreale 1982; Spotila *et al.*, 1981), así, las fluctuaciones de estas variables pueden alterar el desarrollo embrionario principalmente en las épocas de lluvias y secas. Si la playa no tiene calidad para la anidación (sustrato inadecuado para la incubación por motivos diversos como pueden ser: demasiada humedad, demasiada sequedad, falta de arena, etc.) la tortuga retorna al mar sin depositar los huevos para salir posteriormente en otra zona (Abella, 2010). En este sentido es importante considerar la textura original de las arenas en las playas de anidación que serán sujetas a programas de



### Impacto ambiental

recuperación de playas para no afectar los sitios de anidación y el éxito de estas (Bolongaro Crevenna *et al.*, 2010).

Basándose en esta información es importante mencionar que siguiendo el análisis realizado en el área sobre el sedimento que puede usado para el relleno de la playa (Anexos II.1, II.2, II.8), dos polígonos: **zona de acumulación “A” (B1 y B2) y zona de acumulación “G” (B6, A1)** los cuales son considerados como idóneos para realizar la alimentación de la playa como se muestra en las siguientes tablas. Esto, por lo tanto, disminuye en cierta medida el efecto que podría tener en la anidación de las tortugas, ya que como se ha visto en los estudios antes mencionados, el sedimento juega un papel importante en la anidación de los quelonios. No obstante, se ha visto que la cantidad de nidadas en las playas restauradas fue menor en los dos primeros años después de la ejecución del proyecto, siendo similares después del segundo año de haber sido las playas restauradas mostrando las mismas condiciones que las playas naturales en Florida (Steibnitz *et al.*, 1998). Lo que más influyó para la reducción de nidos fue la dureza de la playa en los primeros 20 cm de sedimento y la formación de bermas de 2-3 m frente a las playas lo que impidió la entrada de hembras. Algunos estudios muestran que las playas restauradas se estabilizan después de dos años, presentando en algunos casos un mayor número de nidos que las naturales probablemente porque en ese momento presentaban mejores condiciones para la anidación de tortugas caguama (*Caretta caretta*) (Aubree y Gallagher 2009) o bien porque las condiciones fueron comparables a las de las naturales, ya que playas recién restauradas tienden a estar compactadas y a formar bermas que impiden el paso de las tortugas (Steinitz, *et al.* 1998). Esto indica que una playa restaurada a través de la alimentación de sedimento, aun siendo similar al de la playa receptora implica un tiempo de estabilización en el cual es probable que la anidación no se presente o sea menor. Por lo tanto, en la playa (frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales) a rehabilitar, se espera que se presente este periodo de estabilización y que con la recuperación del ancho de la playa el número de arribazones pueda incrementar.

Observando las condiciones actuales de la playa (frente donde se ubicarán los arrecifes artificiales) que presenta retroceso de su línea de costa por erosión, y la



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

importancia ecológica por el arribo de tortugas marinas y otras especies además de ser una zona de afluencia turística, se hace necesario el establecimiento de medidas que ayuden a la recuperar la playa. Es por esto que se incorporará arena en la playa para aumentar la línea de costa y con ello se modificará la topografía y el perfil actual. Si bien serán cambios que alteren las condiciones actuales del sitio, éstos significan efectos que serán benéficos para la zona. Éstos no sólo se verán en el incremento de playa que repercutirá en el en el bienestar de los visitantes sino también en el incremento de zonas de anidación para las tortugas marinas que anidan en la zona pues la morfología de la playa juega asimismo un papel determinante en el patrón temporal de distribución de nidos (Hendrickson, 1982). Se ha registrado un mayor número de nidos en playas de mayor extensión que en cortas y expuestas al oleaje ya que existe más espacio útil para la creación de nidos (Abella 2010). Muchas de las especies de tortugas marinas seleccionan preferentemente playas anchas, libres de obstáculos para anidar pues las pérdidas debido a la erosión e inundación por agua salada, ocurren con menor probabilidad a los nidos situados en la parte alta de la playa (Abella 2010). La pérdida de playas arenosas no sólo reduce el éxito reproductivo de las tortugas marinas, sino que también pone en peligro la operatividad de las propiedades frente a la playa, además de las serias repercusiones que tiene para industrias locales vitales, como la pesca y el turismo costero.

Dado que la regeneración de la playa es necesaria, es de suma relevancia mencionar que para atenuar los efectos de esta acción, como se señaló previamente la arena de reemplazo será similar a la de la playa receptora cuidando además que contenga la menor concentración de materia orgánica, arcilla y limo posible para evitar que el material se consolide formando escarpes pronunciados en las playas por efecto del oleaje y que impida el paso de las tortugas marinas o el proceso de excavación de nidos, manteniendo así la idoneidad de la playa para la incubación de huevos. Además de esto, es de notar que el perfil de playa después de la alimentación tendrá una pendiente del 2 al 4%, similar al reportado para las playas de la Riviera Maya (en torno al 5%), lo que favorecerá la permanencia del sedimento en la playa y con ello las características para que las tortugas puedan elegir esta zona para su arribo.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impacto ambiental	
<p>Aunado a lo anterior se incluirán acciones para revisar las condiciones de la playa previo al inicio de la temporada como la compactación y la formación de bermas. Estas acciones se integrarán al <b>Programa de Manejo de Tortuga El Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo</b>, que ejecuta el hotel actualmente.</p>	
<p><b>BMan1.</b> Mortandad o daño de individuos debido a la resuspensión de sedimento por el hincado de pilotes.</p>	
<p>Valor del impacto: 0.30</p>	<p>Moderado</p>
<p><b>Descripción</b></p> <p>Con el hincado de pilotes para la instalación de los andadores, se ocasionará la resuspensión de sedimento afectando con ello a la biota que habita en el sitio. Los andadores norte y centro se ubicarán sobre una zona de arenal somero compuesto por sedimento muy fino de fácil resuspensión que puede viajar grandes distancias, además de la existencia de pastizales en los ambientes cercanos, colocándose 84 pilotes por cada espigón.</p>	
<p><b>BMta1.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres que habitan la zona aledaña debido a la resuspensión de sedimento durante la succión o por fuga en la tubería.</p>	
<p>Valor del impacto: 0.33</p>	<p>Moderado</p>
<p><b>Descripción.</b></p> <p>Como se mencionó anteriormente de acuerdo con el análisis de sedimento realizado en el área (Anexo II.1 a y f), las zonas potenciales de donde podría obtenerse el sedimento (Marina, B1 o A1) presentan un tamaño de sedimento entre 0.14 a 0.65 mm lo que corresponde a arenas medias de acuerdo con la escala Wentworth (Wentworth 1922) y un porcentaje de finos variable con la zona de la marina mostrando un porcentaje mayor al 50%. Considerando esto la pluma de dispersión tendería a moverse hacia el este y después al norte siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998), recorriendo una distancia probable de 1 o 2 km por ser arenas medias</p>	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

disminuyendo su concentración hacia la mayor distancia según estudios realizados (Newell *et al.*, 1999), afectando a las comunidades que se ubiquen en el trayecto de la pluma de dispersión. Con base en la caracterización marina realizada en el SAR (capítulo IV), la pluma de dispersión afectaría áreas cubiertas por pastizales, los cuales son de gran importancia siendo hábitat y recurso de otras especies y laja con algas y gorgonáceos en su mayoría. Considerando que si bien son zonas importantes se espera que con el uso de la bomba sumergible la cantidad de sedimento resuspendido por la succión del sedimento en el área será baja por lo que de llegar a alcanzar estas zonas sería en una cantidad mínima. Ante esto la magnitud se determinó como media (6). Como medida de prevención para evitar cualquier afectación a la biota, se colocará una malla geotextil para evitar la dispersión del sedimento más allá de la zona de intervención y se llevará a cabo la observación de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones de succión con el fin de verificar que el agua presente las mismas condiciones de turbidez que las iniciales. En el caso de la tubería utilizada, ésta será revisada previo a su uso para verificar que se encuentre en buen estado, además de que se contratará personal especializado en este tipo de acciones para evitar afectaciones, y de existir alguna fuga se detendrán las acciones para realizar la reparación de la tubería fuera del área. En caso de tener algún efecto alrededor se detendrá el proceso hasta que la turbidez sea similar y no haya sólidos suspendidos.

**BMes1.** Mortandad o daño de la biota aledaña debido a la resuspensión de sedimento por el retiro de los espigones al alterar su hábitat y disminuir su cobertura.

Valor del impacto: 0.36

Moderado

#### Descripción

Con el retiro de las rocas que conforman a los espigones se generará turbulencia, ocasionando así la resuspensión de sedimento en la zona y afectando de manera directa a la biota aledaña que se encuentra en la zona por incremento de turbidez o por ser cubiertas con el sedimento que se deposite. De acuerdo con la caracterización del SAR, los espigones se ubican en dos ambientes: arenal



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

somero (espigón norte y centro) y laja con algas (espigón sur). El arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo y de ser resuspendido, la pluma de dispersión tendería a moverse siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998). Cuando las plumas están compuestas principalmente por sedimentos finos, la distancia que pueden recorrer varía de 1 a 4 km de distancia de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell 2004) y el tiempo de suspensión puede variar de 30 min a 1 hora (Newell *et al.*, 1999) incidiendo en la biota que fue registrada en el SAR sobre todo corales escleractinios, pastizales y gorgonáceos.

### Factor ambiental: AGUA MARINA

**AMes1.** Alteración de la calidad de agua debido a la resuspensión de sedimento incrementando la turbidez del sitio por el retiro de espigones.

Valor del impacto: 0.22

Moderado

### Descripción

Con el retiro de las rocas que conforman a los espigones se generará turbulencia, ocasionando así la resuspensión de sedimento en la zona. De acuerdo con la caracterización del SAR, los espigones se ubican en dos ambientes: arenal somero (espigón norte y centro) y laja con algas (espigón sur). El arenal somero que se encuentra asociado a las estructuras artificiales es de arena muy fina, con alta presencia de limo y de ser resuspendido, la pluma de dispersión tendería a moverse siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998). Cuando las plumas están compuestas principalmente por sedimentos finos, la distancia que pueden recorrer varía de 1 a 4 km de distancia disminuyendo la concentración en la distancia más lejana de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell 2004) y el tiempo de suspensión puede variar de 30 min a 1 hora (Newell *et al.*, 1999). No obstante, para evitar esta afectación se colocará una geomalla textil para retención de sedimento y se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impacto ambiental	
<b>AMta1.</b> Alteración de las características físico-químicas del agua por resuspensión de sedimento en la zona de succión o posible fuga de arena de la tubería.	
Valor del impacto:0.33	Moderado
<p><b>Descripción</b></p> <p>Durante las acciones de succión de arena, el sedimento puede ser liberado a la columna de agua durante la actividad o por fuga en la tubería creando una pluma de turbidez y alterando con ellos las características físico-químicas del agua. La extensión y duración de la pluma depende del volumen de sedimento movilizado, del tipo de equipo usado y de las condiciones hidrodinámicas del sitio. Los sedimentos finos pueden ser depositados a grandes distancias (ICES 1996; Hill <i>et al.</i>, 1999). La porción más densa del material liberado en la superficie, rápidamente desciende hacia el fondo, mientras que los sedimentos más finos más ligeros y menos densos descienden lentamente formando la pluma. Las corrientes desvían a los sedimentos en su descenso y favorecen su dispersión en el sentido de la corriente. Las aguas más densas debajo de la termoclina tienden a actuar como un obstáculo para el descenso de los sedimentos más finos hacia el fondo. Las estimaciones de dispersión del material basadas en los principios de dispersión Gaussiana sugieren que las partículas de arena muy fina pueden viajar hasta 11 km, arena fina hasta 5 km, arena media hasta 1 km y arena gruesa menos de 50 m (Newell <i>et al.</i>, 1998) y hasta 20 km con sedimentos (menores a 0.063 mm) que permanecen en suspensión hasta por 4 o 5 ciclos de marea (Newell <i>et al.</i>, 1998). Cuando las plumas están compuestas principalmente por sedimentos finos, puede variar de 1 a 4 km de distancia de acuerdo a modelaciones realizadas (Hitckock y Bell 2004). El tiempo de suspensión puede variar de 30 min a 1 hora (Newell <i>et al.</i>, 1999). Sin embargo, estudios realizados sugieren que la sedimentación es rápida y confinada a la vecindad de la actividad (hasta 2 km en arenas y gravas) (Newell <i>et al.</i>, 1999).</p> <p>De acuerdo con el análisis de sedimento realizado en el área, las zonas potenciales de donde podría obtenerse el sedimento son la: zona de acumulación “A” (B1, B2) y zona de acumulación “G” (B6, A1), las cuales presentan un tamaño de sedimento entre 0.14 a 0.43 mm lo que corresponde a</p>	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

arenas medias de acuerdo con la escala Wentworth (Wentworth, 1922, <https://geologia.unison.mx/>) y presentan un porcentaje de finos variable con la zona de la marina mostrando un porcentaje mayor al 50%, como se observa en la siguiente tabla.

Parámetros del análisis granulométrico de las muestras de bancos de arena. (Anexos II.1, II.2, II.8).

Banco de arena	Muestra	D50 (mm)	% Finos	$\mu'$
Zona de acumulación “A”	B1	0.43	0	1.81 ( $\mu'$ b)
	B2	0.14	0	4.33 ( $\mu'$ b)
Zona de acumulación “G”	B6	0.65	2	0.72 ( $\mu'$ b)
	A1	0.22	0.28	3.22 ( $\mu'$ b)

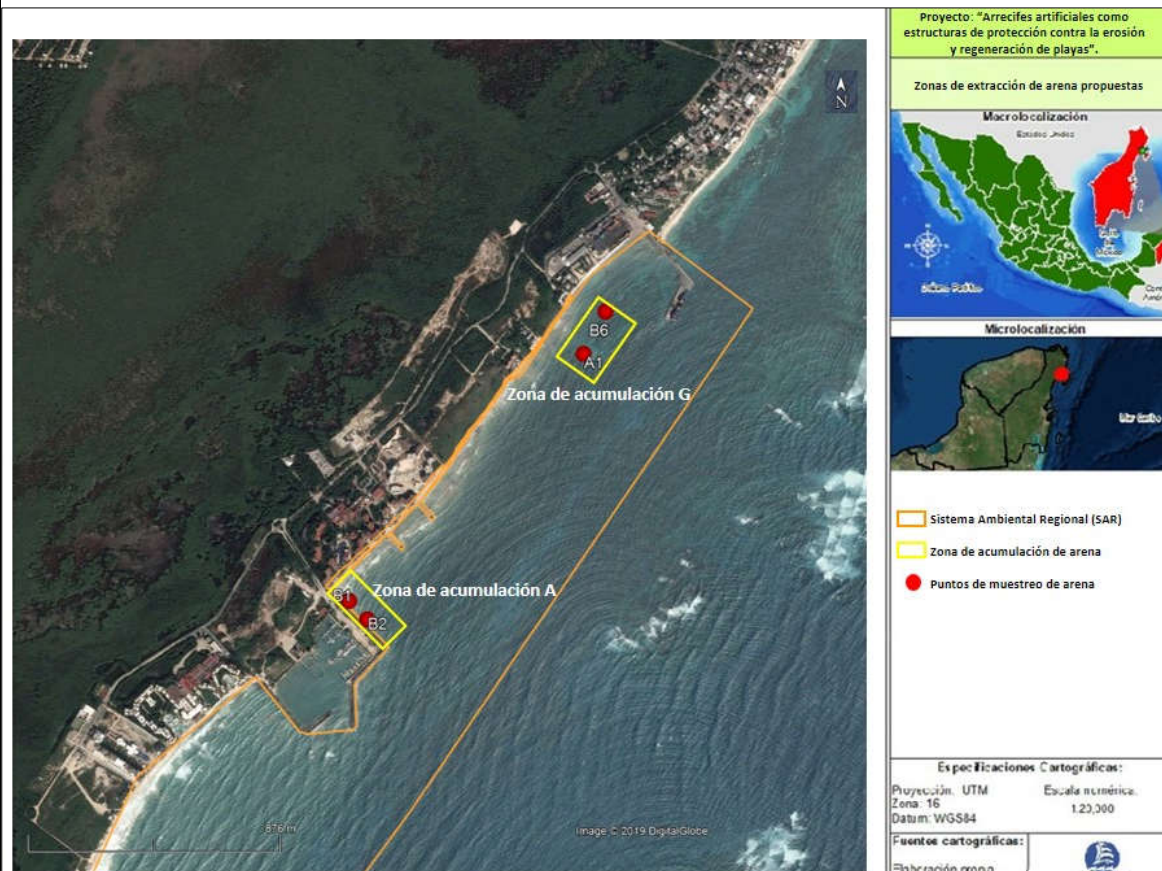
La **zona de acumulación “A”** (B1, B2) y **zona de acumulación “G”** (B6, A1) se tendrán como bancos preferenciales pues son los sitios que muestran un tipo de sedimento similar al de la playa receptora por lo que se trata de sitios en donde el sedimento que ha sido perdido por erosión en la playa se ha depositado debido al oleaje y corrientes. Con la succión, la pluma de dispersión tendería a moverse hacia el norte siguiendo el comportamiento de las corrientes costeras (Suarez Morales y Rivera Arriaga 1998), recorriendo una distancia probable de uno a dos km por ser arenas medias y mostrando una menor concentración hacia la mayor distancia según estudios realizados (Newell *et al.*, 1999) depositándose dentro de las primeras 72 horas por contener baja cantidad de sedimentos finos. Para evitar cualquier afectación al agua, se colocará una malla geotextil para evitar la dispersión del sedimento más allá de la zona de afectación directa y se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones de traslocación de arena. En el caso de la tubería utilizada, ésta será revisada previo a su uso para verificar que se encuentre en buen estado. Además, se contratará personal especializado en este tipo de acciones evitar afectaciones por un mal manejo. De detectarse alguna fuga se detendrán las acciones para reparar la tubería dañada fuera del área. En caso de tener algún efecto en zonas aledañas, se detendrá el proceso



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

hasta que la turbidez del agua sea similar a las condiciones iniciales y no haya sólidos suspendidos.



Ubicación de las muestras de arena de las zonas de acumulación (bancos de arena) idóneas para la extracción de arena.

**AMan1.** Alteración de la calidad de agua debido a la resuspensión de sedimento incrementando la turbidez del sitio por el hincado de pilotes.

Valor del impacto: 0.17

Moderado

### Descripción

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impacto ambiental	
<p>Dado que se pretenden instalar tres andadores piloteados en el área en la que se retirarán los espigones, durante el hincado de los pilotes, se presentará nuevamente la resuspensión de sedimento. Se instalarán 84 pilotes de 20 a 20 cm de diámetro y que se trata de sedimento fino de fácil resuspensión. No obstante, para evitar la dispersión de sedimento se colocará una malla geotextil alrededor de las obras fija al fondo mediante alcayatas y muertos que se prolongue hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos.</p>	
Factor ambiental: FONDO MARINO	
<p><b>FMes1.</b> Alteración de la calidad del sedimento por resuspensión del sedimento asociada a la turbulencia ocasionada por el retiro de los espigones.</p>	
Valor del impacto: 0.22	Moderado
<p><b>Descripción</b></p> <p>Un aspecto importante que puede modificar la calidad del fondo marino es la resuspensión de sedimentos por la turbulencia asociada a las acciones de instalación de las estructuras. Los espigones norte y centro se encuentran ubicados en un arenal somero compuesto por arena muy fina de fácil resuspensión, mientras el espigón del sur se ubica en un ambiente de laja con algas en donde el sedimento es muy poco por lo que el mayor efecto se presenta en los andadores del norte. Este efecto es inevitable, sin embargo, se colocará una malla geotextil, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo, lo cual será corroborado a través de la vigilancia de la turbidez del agua marina.</p>	
<p><b>FMan1.</b> Alteración de la calidad del sedimento por resuspensión del mismo, asociada a la turbulencia ocasionada por el hincado de pilotes para la instalación de andadores.</p>	
Valor del impacto: 0.30	Moderado
<p><b>Descripción</b></p>	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### Impacto ambiental

Con el hincado de pilotes para la instalación de los andadores, se ocasionará la resuspensión de sedimento en el sitio. Los andadores norte y centro se encuentran ubicados sobre una zona de arenal somero compuesto por sedimento muy fino de fácil resuspensión que puede viajar grandes distancias y que se pretende la colocación de 84 pilotes individuales 20 a 28 cm de diámetro por espigón.

Después de la descripción de los impactos ambientales evaluados como aquellos que ocasionarán efectos mayores en el ambiente se describirán aquellos que por sus características se determinaron como acumulativos, sinérgicos y residuales.

#### V.6. Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales.

Considerando las características del proyecto y el Sistema Ambiental Regional delimitado, se valoraron los posibles impactos acumulativos, sinérgicos y residuales con base en la magnitud de éstos, considerando que ésta se refiere a la cantidad y calidad del factor modificado por la acción y cuya escala fue referida en la metodología.

De acuerdo al artículo 3 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental en su fracción VII y VIII, un **impacto ambiental acumulativo** se refiere al efecto en el ambiente que resulta del incremento de los impactos de acciones particulares ocasionado por la interacción con otros que se efectuaron en el pasado o que están ocurriendo en el presente; un **impacto ambiental sinérgico**, es aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varias acciones supone una incidencia ambiental mayor que la suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente y, un **impacto ambiental residual** es el impacto que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación. Con base en estas definiciones, se identificaron y valoraron los siguientes impactos.

Con base en estos criterios se valoraron los siguientes impactos.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

### **V.6.1. Modificación de la dinámica costera durante la operación de las estructuras de apoyo.**

El proyecto contempla la instalación de cuatro estructuras de protección costera, tres de las cuales, tendrán una forma rectilínea y una se construirá en forma de 'T' con el objetivo de reducir la llegada de sedimento a la región del Muelle Fiscal, en el límite norte, además de proteger la playa por su función como dissipador de la energía del oleaje al incidir sobre la misma. La disposición en planta que se propone para las estructuras, con forma trapezoidal, también tiene como finalidad reducir el efecto de obstáculo al transporte longitudinal de sedimentos que supone la localización de la marina. Cabe señalar que la propuesta incluye la sustitución de los espigones rígidos por andadores piloteados de madera que permitan el paso tanto del agua como de los sedimentos. Todo esto traerá consigo cambios en la dinámica costera, efectos que se describen y evalúan a continuación.

#### **V.6.1.1 Alteración de las olas incidentes (altura y energía) (Impacto residual).**

La altura de las olas incidentes y de la fuerza con la que ingresan a la zona serán modificadas como efecto directo de la instalación de las estructuras de protección costera. Una vez que las estructuras de protección se instalen y se encuentren en operación, se generará una zona protegida de la acción de las olas y en donde la acción de las mismas sobre ésta se transformará principalmente por el efecto de difracción en las puntas de la estructura y por la transmisión sobre la estructura disminuyendo así la altura de las olas y la velocidad de las corrientes (Bricio et al. 2008, Sharif 2016).

Aun cuando este efecto será directo y permanente, con base en los estudios realizados en el SAR presentados en el Anexo II.1 de esta MIA-R, el impacto sobre las olas incidentes será local, pues estará restringido únicamente al área que será protegida por los AA sin tener efectos fuera de esta zona, ya sea en zonas aledañas o más lejanas dentro del SAR ni fuera de éste. Cabe mencionar que la instalación de los AA se propone como una medida que favorecerá la recuperación del ancho de la playa que se ha perdido por erosión a través de los años, dissipando la energía del oleaje incidente que está ocasionando la pérdida de sedimento en el sitio. Por lo antes expuesto, la magnitud de este impacto en el SAR es baja (0.4).





### V.6.1.2. Modificación de la corriente local y transporte de sedimento (Impacto residual y acumulativo)

Con la instalación de los arrecifes y la modificación de la altura y energía de la ola incidente debido a un efecto de difracción, se genera una zona protegida en donde las corrientes son modificadas y su velocidad es reducida depositando además parte del material que es acarreado (Bricio et al. 2008, Sharif 2016) dentro del sitio protegido. Lo que el AA reduce, asimismo, es la capacidad de transporte de sedimento en el área protegida donde la altura de las olas es menor.

La difracción involucra un cambio en la dirección de la propagación de la onda, ya que los frentes de onda rodean los finales de la estructura adoptando una curvatura y creando círculos cuyo centro se ubica en cada punta del AA. Cuando se dirigen al mar, las olas siguen la propagación de las ondas siempre siguiendo la línea de máxima pendiente. La corriente litoral y las corrientes de resaca en la costa protegida se mueven en zigzag causando un arrastre neto de partículas de sedimento al centro del área protegida. Poco a poco este movimiento cambia la línea de costa a la forma planeada la cual tiende a ser paralela al frente de onda difractado (Ming y Chiew 2000).

La difracción también reduce la altura de la ola a lo largo del frente de onda difractado. Esto implica que existen gradientes dinámicos del nivel del mar dentro del área protegida dirigido desde cada punta de la estructura hacia el centro generando corrientes longitudinales que se confrontan (llamadas corrientes de lribarren, Suarez Bores 1978) arrastrando sedimentos hacia el área protegida y depositándose cuando la velocidad disminuye. Estas corrientes forman parte de dos sistemas cerrados de corrientes no uniformes rotando en direcciones opuestas localizadas en la franja entre el AA y la costa (Gourlay 1981). Este sistema de corrientes contribuye a moldear la forma de la playa en la zona protegida, ya que acarrear el material del exterior al interior del área protegida por ambos lados de la estructura ocasionando el acumulamiento del sedimento donde ambas corrientes convergen.

Si la cantidad de arena transportada y depositada dentro del área protegida es suficiente, la respuesta de la costa será más evidente cuando el sedimento se



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

acumule y se forme una saliente, la cual será más o menos simétrica al centro del AA. Además de estas corrientes, la intersección de los frentes de onda difractados al centro de la estructura originará una corriente perpendicular a la costa y opuesta al crecimiento de la saliente, la cual juega un papel importante (Ming y Chiew 2000) en el transporte de sedimento.

Finalmente, la transmisión de energía se presenta cuando las olas pueden pasar sobre la estructura y ésta tiene un efecto sobre la difracción. Si la cantidad de energía transmitida al área es alta entonces la diferencia en la altura de ola será menor y el efecto de difracción, el gradiente en el transporte y la cantidad de arena transportada será menor. Además, las olas que pasen por encima de la estructura darán lugar a un flujo divergente hacia afuera del área protegida para preservar la masa de agua adentro, lo cual transportará al sedimento fuera de la zona. Estos dos efectos actúan conjuntamente previniendo la acumulación de sedimento detrás del AA (Bricio et al. 2008).

Es así que con la instalación de los AA que se pretenden instalar, se prevé que exista un cambio en las corrientes y en la velocidad de las mismas con la consecuente alteración del transporte de sedimento en la franja comprendida entre los AA y la costa a través del fenómeno de difracción y la transmisión de energía. Haciendo referencia al estudio realizado en la zona (Anexo II.1), es posible mencionar que el efecto que se generará en esta área, aunque permanente, será local sin afectar predios aledaños ni otras zonas dentro o fuera del SAR. En general, los resultados de modelación numérica muestran el servicio de protección que ofrecerían a la costa las estructuras propuestas en este proyecto, reflejado por la llegada de olas menos energéticas a la playa para todos los escenarios de oleaje en calma y de tormenta, y una menor magnitud de circulación de corrientes.

Es así que el efecto que será inducido en las corrientes y transporte de sedimento en el sitio por la instalación de las estructuras será benéfico para la recuperación de la playa pues como se ha mencionado al reducir la velocidad y crear el sistema de corrientes dentro del área protegida se ocasionará un depósito de sedimento y retención del mismo en el área que actualmente se encuentra erosionada. Esto además, no impedirá que se siga presentando el flujo de agua pues el paso de las olas sobre la estructura genera una corriente litoral (Bootcheck J. 1996, Sharif 2016),



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

unado a las corrientes de resaca y el flujo divergente, lo cual por lo tanto tampoco impedirá el transporte de sedimento a otras áreas.

Los resultados de modelado numérico en el Sistema Ambiental Regional permiten comprobar asimismo que no se afectarán los arrecifes de Puerto Morelos y no se desfavorecerán las playas colindantes incluidas en la región del sistema ambiental a la que pertenece la zona de proyecto, pues los principales cambios se observan únicamente en la zona de proyecto. Considerando que las estructuras no causarán efectos que pueden poner en peligro la integridad del ambiente y que por el contrario ayudarán a la recuperación de la playa, este impacto se determinó como de muy baja magnitud.

### **V.6.1.3. Modificación de la línea de costa (Impacto residual).**

Los cambios morfológicos que se verán en la playa se presentarán en respuesta al cambio en las condiciones de la hidrodinámica local y patrones de transporte de sedimento por la instalación de los Arrecifes Artificiales. La reducción de la intensidad de las olas incidentes y la consecuente modificación del sistema de corrientes y su velocidad tendrán como consecuencia que parte del sedimento transportado tienda a acumularse en el área protegida por las estructuras, como se mencionó anteriormente. La disminución de la acción del oleaje sobre la costa produce también una reducción de la corriente litoral pero sin llegar a interrumpirla. Este tipo de protección, produce difracción, reflexión y disipación de la energía del oleaje por rotura del mismo sobre el talud de la estructura. La disminución de la energía entre las estructuras y la costa provoca reducción de la capacidad del transporte litoral, sedimentación y acumulación de arena que avanza sobre la línea de costa al incrementar el tiempo de residencia de la arena en la región protegida (Bootcheck J. 1996, Basiński et al., 1993; Creter et al., 1994).

Los cambios en la línea de costa dependen del diseño y disposición de las estructuras y de la cantidad de sedimento depositado (Bricio et al. 2008, Sharif 2016), por lo que de acuerdo a estos elementos podrían formarse en la costa como respuesta a las estructuras, tómbolos, hemitómbolos (salientes) o simplemente no observarse una respuesta en el sitio (Bricio et al. 2008). Sin embargo y como se mencionó anteriormente, la acumulación de la arena detrás de los arrecifes



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

artificiales no generará la formación de tómbolos como se muestra en la modelación realizada en el estudio técnico (Anexo II.1). En dicho estudio, los resultados de respuesta morfológica de la playa, en particular, aquéllos que representan la variación de cota batimétrica (erosión-sedimentación) durante un evento de oleaje permiten identificar la función de las estructuras como trampa de sedimento, tras observar zonas de sedimentación en el área de resguardo de los AA. Estos resultados también reflejan la acumulación de sedimentos que actualmente tiene lugar junto a la marina, el cual tendería a ser movido hacia la playa en la nueva situación de proyecto que se plantea. En cuanto al cambio de línea de costa éste permite entender la tendencia de movimiento que seguiría el sedimento, distribuyéndose a lo largo de la playa por la acción del oleaje (aunque manteniendo una posición de línea de costa más avanzada a la existente en 2017 debido a la protección que ofrecen las estructuras). La interpretación conjunta de los resultados de cambio de línea de costa y análisis de zonas de sedimentación/erosión durante un evento de oleaje muestran cómo el sedimento puede ser desplazado de la playa seca a la playa sumergida por la acción del oleaje (de ahí el retroceso de la costa) pero sin perderse mar adentro, como ocurre actualmente, por la presencia de las estructuras.

Considerando que aun cuando se presentará un cambio en la morfología de la costa, éste será local sin la generación de tómbolos que impidan el flujo de agua, se considera un impacto de magnitud baja (0.4). Este cambio será benéfico para la playa al recuperar el ancho que se ha perdido a través de los años por erosión y que se seguirá perdiéndose de no instalar las estructuras propuestas. Cabe mencionar que, se llevará a cabo un Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero con el fin de verificar que la respuesta de la costa sea la esperada y en caso de ser necesario hacer los ajustes pertinentes. Al respecto, una vez que se autorice el proyecto, se entregará a la autoridad un **Plan de modificación o desmantelamiento de los AA** en caso de que no se cumplan los objetivos por los cuales fueron instalados o que genere efectos negativos en el área inmediata o aledaña.

### V.6.2. Alteración de la movilidad de las especies que habitan la zona (Impacto residual).

Con la instalación de los nuevos elementos que serán colocados en la zona, se ocuparán áreas libres pudiendo ser barreras artificiales para algunas especies. Sin embargo, el área que será ocupada por las estructuras (0.4186 ha) representan el 0.15% del área total del SAR. Aunado a esto, entre estas estructuras existirán espacios que permitirán el paso de los individuos (140 m aproximadamente entre las estructuras del sur y entre éstas y la del norte de 620 m). Por lo antes expuesto, si bien serán elementos artificiales, el impacto que ocasionarán en la zona será de muy baja magnitud para la biota que habita el sitio y aún menor para la flora y fauna que se ubica en la celda litoral. En lo que respecta a *L. gigas*, el efecto será menor dado que es un gasterópodo que pueden viajar grandes distancias en sus periodos de migración teniendo posibles pasos a través de los arrecifes artificiales que les permitirán acceder a zonas someras. Aunado a que la zona de pastizal mixto y arenales que es donde pueden agruparse preferencialmente para reproducción o alimentación no serán afectados, siendo así un impacto de magnitud baja (0.4).

### V.6.3. Alteración del libre acceso de tortugas marinas al área de anidación y regreso al mar (Impacto residual, acumulativo y sinérgico).

Respecto a la tortuga marina, como se refirió previamente en el análisis realizado, en la zona se ha registrado el arribo de las especies de tortuga marina *C. caretta*, *E. imbricata* y *C. mydas* en el SAR del proyecto mostrando una mayor preferencia de anidamiento entre la escollera de la marina El Cid y Punta Brava, siendo esta última, el área de mayor anidación de quelonios. Respecto a la playa que abarca desde la escollera de la marina hasta el muelle fiscal, de acuerdo con los registros obtenidos del **Programa de Conservación de Tortuga Marina del Hotel**, la cantidad de anidamientos es muy baja con un promedio de 6 nidos /temporada en un área de 1.74 ha. Esto probablemente por el desarrollo turístico en la zona y por el retroceso de la línea de costa asociado al proceso erosivo que sufre el área. Con la instalación de los arrecifes artificiales y el relleno de la playa se pretende ayudar a la recuperación de la misma disminuyendo la fuerza de las olas y con ello la erosión del sitio. Sin embargo, estas estructuras podrían representar barreras para el



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

libre acceso de las hembras a la playa y su regreso al mar, pues se ha visto que, en algunas playas, las estructuras de estabilización (espigones y tetrápodos perpendiculares y paralelos a la costa respectivamente) han inhibido toda la actividad de anidación de tortugas (Steinitz *et al.*, 1998) o el desplazamiento a otras zonas de anidación (Bolongaro Crevenna *et al.*, 2010). Esto sucede posiblemente porque estas obras marítimas obligan a estas especies a recorrer grandes trechos paralelos a la costa o finalmente regresar al mar y anidar en sitios menos aptos en otros tramos más alejados de playa por el bloqueo del acceso para arribar a la playa, causando que estas aniden en otros sitios menos aptos para realizarlo y posiblemente con una menor probabilidad de sobrevivencia (Márquez 1996, Bolongaro Crevenna *et al.*, 2010).

Los arrecifes artificiales podrían representar una barrera, no obstante, se trata de estructuras que tendrán una separación entre cada una de ellas permitiendo el paso de los organismos. Las estructuras que se encuentran al sur tendrán alrededor de 140 m de distancia entre ellas y éstas entre la estructura del sur de 620 m, por lo que esta discontinuidad permitirá el paso de los organismos. Aunado a esto como se señaló previamente, la cantidad de anidaciones es muy baja, ya que la playa frente al hotel asociado al proyecto, no se considera una zona de alta densidad de nidos ni en el estado ni dentro del SAR, por lo que la magnitud será baja (0.4).

Con la finalidad de observar que no exista algún efecto negativo en las tortugas por la instalación de los arrecifes artificiales, se seguirá llevando al cabo el registro de anidación de tortugas y eclosión de crías, lo cual será integrado al **Programa de Manejo de Tortuga El Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo** que actualmente se realiza en el hotel y se continuarán con las medidas de protección que se realizan hacia estos reptiles. El análisis de anidamiento de tortugas y las medidas implementadas de ser el caso serán presentados como parte de los informes.

### **V.6.4. Alteración del libre paso de las crías para nadar hacia mar abierto (Impacto residual, acumulativo y sinérgico).**

En cuanto a las crías que pudieran eclosionar en el sitio, de ser el caso, se enfrentarían a los arrecifes artificiales frenando su nado a mar abierto. Si bien estas estructuras contarán con una separación (ca.120 m entre las estructuras del sur y





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

entre estas y las del lote 1 de 620 m), de encontrarse directamente con los arrecifes artificiales, las crías tendrían que nadar en busca de la zona libre incrementando con ello el tiempo en aguas someras y en consecuencia la probabilidad de ser depredadas (Whelan y Wyneken 2007).

Como se señaló antes, en la playa la anidación de tortugas es escasa, por lo que el número de crías que eclosionan en el sitio es asimismo muy bajo (de 137 a 337 crías/ temporada en promedio para las especies de tortuga que arriban a la zona). No obstante, estas estructuras podrían generar efectos en las crías recién eclosionadas en su viaje hacia mar abierto.

El sistema de orientación de las crías debe ser capaz de dirigir las desde cualquier tipo de playa hacia mar abierto. Las crías emplean dos sistemas independientes de orientación de manera secuencial usando diferentes señales. Cuando el contacto visual con la tierra es perdido, las crías mantienen su orientación en el mar a un ángulo fijo relativo a las olas (Lohman y Wyneken 1990) y después al campo magnético (el vector de dirección es determinado durante su paso por la playa a través de la elevación del horizonte y las olas de aguas someras refractadas por lo que se alejan de siluetas elevadas y nadan hacia las olas cercanas a la playa) (Salmo y Weneken 1994, Fuxjager *et al.*, 2011). La dirección de la propagación de las olas son señales de orientación a mar abierto para las crías y nadan hacia ellas más allá de 18 km y son capaces de cambiar la dirección para rodear obstáculos pequeños (Lohman y Wyneken 1990). Al tocar el mar se orientan perpendicularmente hacia las olas y su dispersión está determinada por los patrones de circulación para reducir el riesgo de depredación y mantenimiento de energía (Hamanna *et al.*, 2011). Dadas las características del oleaje en el SAR, las crías en su nado al mar podrían encontrarse con los arrecifes artificiales, sin embargo, estas estructuras contarán con espaciamiento entre ellas lo que podría disminuir el efecto en las crías, aunado a que no se trata de una playa registrada entre aquellas de alta anidación y la zona frente al hotel asociado al proyecto no se ubican en la región de presencia de anidación para las tortugas.

Por otro lado, también se ha observado que olas grandes y corrientes oceánicas frecuentemente impiden a las crías en su nado inicial, escapar a mar abierto (Whelan y Wyneken 2007). Tomando en consideración lo anterior, la instalación de



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

los arrecifes artificiales en esta zona tiene como objetivo disminuir la fuerza de las olas que ingresan a la playa para reducir la erosión que existe en el área y con ello el retroceso de la línea de costa que se ha observado a lo largo de los años. Esta disipación de energía de las olas podría favorecer el nado de las crías hacia mar abierto al disminuir la fuerza de las olas y no su dirección como se muestra en el estudio realizado en la zona (Anexos II.1y II.1.1), la cual como se mencionó anteriormente es importante para la orientación de las crías.

Tomando en cuenta que aún y cuando el hábitat de las tortugas será alterado por la instalación de los arrecifes artificiales y el relleno de playa, el área frente al Hotel asociado al proyecto, no representa una zona de alta presencia de tortugas ni de anidamiento por lo que el efecto en estos animales será de magnitud baja (0.4).

### **V.6.5. Modificación de la zona de anidación de las tortugas marinas (Impacto residual, acumulativo).**

La playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales ha estado sujeta a erosión por lo que desde el año 2004 ha sufrido un retroceso de la línea de costa de 10 m (Anexo II.1). En esta playa se ha llevado un registro del arribo de tortugas marinas, observándose un arribo escaso (en promedio 6 nidos /temporada). Es por ello que se pretende la instalación de los arrecifes artificiales y el relleno de la playa con sedimento de la zona. La alimentación de la playa con el fin de recuperar los metros que se han perdido por erosión a través del uso de sedimento ocasionará, como se señaló anteriormente, alteraciones en la playa de anidación de las tortugas marinas. Si bien el sedimento que será usado presenta características similares a las de la playa receptora, lo que aminora el efecto al ser un elemento importante para la anidación de las tortugas, se ha visto que las playas muestran un periodo de estabilización de aproximadamente dos años y en ocasiones más para poseer las condiciones idóneas para que la anidación se lleve a cabo.

El sedimento juega un papel importante en la anidación de los quelonios. No obstante, se ha visto que la cantidad de nidadas en las playas restauradas fue menor en los dos primeros años después de la ejecución del proyecto, siendo similares después del segundo año de haber sido las playas restauradas mostrando las mismas condiciones que las playas naturales en Florida (Steibnitz *et al.*, 1998). Lo



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

que más influyó para la reducción de nidos fue la dureza de la playa en los primeros 20 cm de sedimento y la formación de bermas de 2-3 m frente a las playas lo que impidió la entrada de hembras. Algunos estudios muestran que las playas restauradas se estabilizan después de dos años, presentando en algunos casos un mayor número de nidos que las naturales probablemente porque en ese momento presentaban mejores condiciones para la anidación de tortugas caguama (*Caretta caretta*) (Aubree y Gallagher 2009) o bien porque las condiciones fueron comparables a las de las naturales, ya que playas recién restauradas tienden a estar compactadas y a formar bermas que impiden el paso de las tortugas (Steinitz *et al.* 1998). Esto indica que una playa restaurada a través de la alimentación de sedimento, aun siendo similar al de la playa receptora implica un tiempo de estabilización en el cual es probable que la anidación no se presente o sea menor. Por lo tanto, en la playa (frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales) a rehabilitar, se espera que se presente este periodo de estabilización y que con la recuperación del ancho de la playa el número de arribazones pueda incrementar.

Observando las condiciones actuales de la playa (frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales) que presenta retroceso de su línea de costa por erosión en el sitio, y la importancia ecológica por el arribo de tortugas marinas y otras especies además de ser una zona de afluencia turística, se hace necesario el establecimiento de medidas que ayuden a la recuperar la playa. Es por esto que se incorporará arena en la playa para aumentar la línea de costa y con ello se modificará la topografía y el perfil actual. Si bien estos serán cambios que alteren las condiciones actuales del sitio, éstos significan efectos que serán benéficos para la zona. Éstos no sólo se verán en el incremento de playa que repercutirá en el bienestar de los visitantes sino también en el incremento de zonas de anidación para las tortugas marinas que llegan a la zona pues la morfología de la playa juega asimismo un papel determinante en el patrón temporal de distribución de nidos (Hendrickson 1982). Se ha registrado un mayor número de nidos en playas de mayor extensión que en cortas y expuestas al oleaje ya que existe más espacio útil para la creación de nidos (Abella 2010). Muchas de las especies de tortugas marinas seleccionan preferentemente playas anchas, libres de obstáculos para anidar pues las pérdidas debido a la erosión e inundación por agua salada, ocurren con menor probabilidad a los nidos situados en la parte alta de la playa (Abella 2010). La pérdida de playas arenosas no sólo reduce el éxito reproductivo de las tortugas



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

marinas, sino que también pone en peligro la operatividad de las propiedades frente a la playa, además de las serias repercusiones que tiene para industrias locales vitales, como la pesca y el turismo costero.

Basándose en la información antes expuesta respecto a las condiciones actuales de la playa, la importancia de la playa como zona de anidación de tortugas marinas, y el efecto que podría tener el relleno a corto y largo plazo, la magnitud se determinó como baja (0.4).

Aunado a lo anterior si bien la alimentación de la playa se hará con sedimento similar al que existe actualmente en la playa, se ha visto que existen un periodo de al menos dos años para que la playa se estabilice y las tortugas puedan anidar en este tipo de playas, aunque también se ha observado que ha habido un mayor número de nidos en playas alimentadas que en naturales probablemente porque las condiciones de éstas últimas no son buenas y son mejores las de las playas recuperadas. Se espera entonces que exista un periodo de estabilización de la playa para que pueda fungir como una zona de anidación para las hembras y quizá incremente el número de hembras que elijan esta playa para anidar.

Aunado a lo anterior se incluirán acciones para revisar las condiciones de la playa previo al inicio de la temporada de anidación de las tortugas como la compactación y la formación de bermas para proveer un ambiente idóneo para estos reptiles. Estas acciones se integrarán al **Programa de Manejo de Tortuga El Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo** que actualmente se lleva a cabo en el hotel.

### **V.6.6 Modificación del lecho marino por la instalación de los AA y el incremento del ancho de la playa (Impacto acumulativo).**

Una vez instalados los AA ocuparán un espacio en el lecho marino que además modificará la topografía del sitio siendo así un impacto ambiental acumulativo. Este impacto será de magnitud muy baja sobre el Sistema Ambiental Regional, dado que se trata de una zona turística, en la que actualmente se llevan a cabo actividades acuáticas y en donde ya se han instalado otros elementos ajenos al ambiente con anterioridad (e.g. marina, muelle).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

El desarrollo de este proyecto se sumará a la modificación del lecho marino por ser un elemento adicional al ambiente. Actualmente en el SAR se encuentra la marina del hotel asociado al proyecto y el muelle fiscal ocupando un área aproximada de 9.77 ha y 0.82 ha respectivamente, siendo en total 10.59 ha. El área que ocuparán los arrecifes artificiales será de 0.4186 ha. Por otro lado, los espigones tienen una longitud aproximada de 56 m y un ancho de 10 m, por lo que el área que ocupa cada espigón es alrededor de 560 m<sup>2</sup>. Se contempla la instalación de 84 pilotes circulares sobre un dado de concreto de 50 cm por 50 cm ocupando un área de 0.25 m<sup>2</sup> por pilote por lo que el área a ocupar por los 84 pilotes será alrededor de 21 m<sup>2</sup> por cada andador, ocupando los tres andadores contemplados, un área total de 63 m<sup>2</sup> (0.0063 ha). Además, el área que será ocupada por el relleno en la zona como se señaló anteriormente será de 0.787 ha.

En suma, el área total de ocupación del lecho marino en el SAR considerando la infraestructura actual (10.59 ha) y el área ocupada por los arrecifes artificiales (0.4186 ha), los andadores piloteados (0.0063) y el relleno (0.787 ha) será de 11.8 ha por lo cual, si bien será un impacto permanente, el área de afectación representa un incremento de 1.21 ha lo que en total representa el 4.4 % del área total del SAR. Aunado a lo anterior la ocupación del fondo marino será únicamente en el área de afectación directa sin generar otros efectos adversos en el fondo marino más allá de las áreas afectadas, al ser un impacto local. Cabe mencionar que los arrecifes artificiales y los andadores son los que generarán el cambio mayor, ya que el relleno de la playa se llevará a cabo para recuperar el ancho de playa que se tenía en el pasado y que fue perdido por erosión. Tomando en cuenta lo señalado previamente, la magnitud se determinó como baja (0.4).

### **V.6.7. Modificación del hábitat por la instalación de estructuras artificiales en la zona en el área, la instalación de andadores y la regeneración de la playa (Impacto acumulativo).**

Para la identificación del impacto acumulativo por el incremento de infraestructura en el SAR, se consideraron las actividades que actualmente se realizan en el área y en todo el SAR.

Se estima que, respecto a la modificación de hábitat, se presentará un impacto ambiental acumulativo de magnitud muy baja sobre el Sistema Ambiental Regional



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

por el desarrollo del proyecto, dado que se trata de una zona turística, en la que actualmente se llevan a cabo actividades acuáticas en esta zona. El desarrollo de este proyecto se sumará a la modificación del hábitat por ser un elemento adicional al ambiente. Actualmente en el SAR se encuentra la marina del hotel asociado al proyecto y el muelle fiscal ocupando un área aproximada de 9.77 ha y 0.82 ha respectivamente, siendo en total 10.59 ha. El área que ocuparán los arrecifes artificiales será de 0.4186 ha. Por otro lado, los espigones tienen una longitud aproximada de 56 m y un ancho de 10 m, por lo que el área que ocupa cada espigón es alrededor de 560 m<sup>2</sup>. Se contempla la instalación de 84 pilotes circulares sobre un dado de concreto de 50 cm por 50 cm ocupando un área de 0.25 m<sup>2</sup> por pilote por lo que el área a ocupar por los 84 pilotes será alrededor de 21 m<sup>2</sup> por cada andador, ocupando los tres andadores contemplados, un área total de 63 m<sup>2</sup> (0.0063 ha). Además, el área que será ocupada por el relleno en la zona como se señaló anteriormente será de 0.787 ha. En suma, el área total de ocupación en el SAR considerando la infraestructura actual (10.59 ha) y el área ocupada por los arrecifes artificiales (0.4186 ha), los andadores piloteados (0.0063) y el relleno (0.787 ha) será de 11.8 ha por lo cual, si bien será un impacto permanente, el área de afectación representa un incremento de 1.21 ha lo que en total representa el 4.4 % del área total del SAR.

Tomando en cuenta lo señalado previamente, la magnitud se determinó como baja (0.4).

### V.6.8. Modificación del paisaje (Impacto acumulativo)

Con la instalación de las estructuras en la zona, la modificación del paisaje, será permanente. Al respecto, es importante señalar que como se mencionó anteriormente, en el SAR existen construcciones previas (marina el Cid y muelle Fiscal) que han modificado el paisaje natural del sitio. Con la construcción de los arrecifes artificiales, la regeneración de la playa y la sustitución de los espigones por andadores piloteados el paisaje será alterado en un área adicional de 1.21 ha que sumadas a la infraestructura que se presenta actualmente (10.59 ha de la marina y el muelle fiscal) representa el 4.4 % del área total del SAR.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Es relevante señalar que el reemplazo de los espigones por andadores piloteados dará una mejor vista a la zona además de permitir el libre paso del agua en el sitio. Asimismo, la alimentación de la playa ayudará a recuperar ésta y con ello la incidencia visual será mejorada, por lo que el impacto en el paisaje será un efecto de magnitud baja. Además de esto durante los periodos de pleamar, las estructuras no serán visibles y sólo podrán ser ubicadas por la señalización que será puesta en los arrecifes artificiales. Por lo antes expuesto se evaluó como un impacto de magnitud baja (0.4).

Es importante mencionar que la colocación de estas estructuras servirá para ayudar a minimizar la erosión que sufre actualmente la playa, por lo que, si bien se afectará el paisaje al poner elementos artificiales en el sitio, éstos ayudarán a conservar la playa y disminuir el efecto que actualmente se presenta en el paisaje por el retroceso de la línea de costa al recuperar la playa que se ha perdido.

### V.7. Conclusiones.

Basándose en las características del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” (Capítulo II), las condiciones del Sistema Ambiental Regional (Capítulo IV), la opinión de expertos y el análisis de evaluación de impacto ambiental utilizadas en este capítulo, el proyecto generará una serie de impactos ambientales de naturaleza negativa.

No obstante, con base en todo el análisis desarrollado en este capítulo, es posible manifestar que este proyecto cumplirá con lo establecido en el artículo 35 de la LGEEPA, ya que la identificación y evaluación de impactos presentada evidenció que los posibles efectos de las actividades del proyecto no pondrán en riesgo la estructura y función de los ecosistemas descritos en el SAR con base en lo siguiente:

1. Considerando el proceso erosivo que sufre la playa (frente donde se ubicarán los arrecifes artificiales) originado por fenómenos meteorológicos y la dinámica propia del sitio, incrementado por la instalación de estructuras en el pasado (muelle fiscal, espigones, marina), que no permiten que este sistema pueda recuperarse de manera natural. Por esta razón, el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y**



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**regeneración de playas”** se concibe como una medida para contrarrestar los efectos causados por los agentes antes descritos con el fin de ayudar a la recuperación de la playa y frenar el retroceso de la línea de costa, lo que traerá consigo mejoras ambientales tanto para la biota como para los visitantes.

2. La zona donde se pretende llevar a cabo el proyecto presenta características que evidencian impacto humano previo por actividades turísticas.
3. Con base en la información obtenida del estudio de caracterización marina (capítulo IV) el ambiente marino está compuesto principalmente de una laja calcárea sin la presencia de una cresta arrecifal, y por lo tanto no hay presencia de una laguna arrecifal como tal, lo que le ocasiona una baja heterogeneidad ambiental.
4. La zona marina de pretendida ubicación del proyecto aloja cuatro especies en categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059- SEMARNAT-2010 y la modificación del anexo normativo III de la misma (DOF, 14/11/2019): los pastos marinos *Syringodium filiforme* (amenzada) y *Thalassia testudinum* (protección especial) y los gorgonáceos *Plexaura homomalla* y *Plexaurella dichotoma* y los peces *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae* en protección especial. Sin embargo, se implementarán las medidas necesarias para evitar cualquier afectación a los individuos de estas especies.
5. Respecto a las especies de tortuga marina, si bien en el área donde se pretende ejecutar este proyecto se ha observado la anidación de quelonios, la playa frente a la cual se pretende la instalación de los arrecifes artificiales no está considerada como un área de importancia biológica para las tortugas, pues la anidación de tortugas es escasa y con ello la densidad de los nidos. Aunado a lo anterior, la playa frente al hotel asociado al proyecto, no es una zona preferencial de anidamiento, pues ésta se ubica desde la escollera de la marina hasta Punta Brava. En adición, los arrecifes artificiales no serán instalados de manera continua ya que contarán con un espaciamiento entre ellas proporcionando así espacios para el paso de las especies. Es relevante hacer mención que, en el hotel asociado al proyecto, se llevan a cabo acciones para el cuidado y protección de las especies de tortugas marinas que llegan a anidar a esta zona, lo cual será complementado con acciones para el monitoreo de los quelonios.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

6. La zona de pastizales mixtos en el SAR que aloja especies en alguna categoría de riesgo y que sirve como sitio de alimentación para las tortugas y otras especies además de refugio, no será afectada pues se llevarán a cabo acciones para su protección. Como muestra del compromiso ambiental que el promovente posee, se llevó a cabo la reubicación de los arrecifes artificiales en dos ocasiones ya que, en las primeras propuestas de ubicación, los pastizales serían impactados directamente por su colocación. Ante esto, con base en los estudios técnicos de ingeniería se presenta la ubicación final de las estructuras en esta MIA-R para evitar la afectación de los pastizales y asegurar el buen funcionamiento de los arrecifes artificiales.
7. Referente a la especie *L. gigas*, ésta no será afectada de manera sustancial ya que es un gasterópodo que puede recorrer grandes distancias y que podrá acceder a zonas someras a través de los espacios entre los arrecifes artificiales, aunado a que las zonas de agregación de esta especie para reproducción o alimento (pastizales y arenales) no serán impactadas. La circulación del SAR y fuera de este no será modificada por lo que las zonas identificadas como proveedoras de larvas tampoco serán afectadas.
8. La instalación de los arrecifes artificiales ayudará a la recuperación de la playa ubicada frente al hotel asociado al proyecto, playa que se ha visto afectada por eventos naturales y antropogénicos que le han impedido recuperarse de manera natural haciendo necesario el establecimiento de este tipo de proyectos para frenar el retroceso de la línea de costa.
9. De acuerdo con el análisis presentado, se considera que no se modificarán los procesos naturales de las especies de flora y fauna marinas ya que se llevarán a cabo las acciones necesarias para evitar cualquier posible afectación a las mismas.
10. Las estructuras de protección (arrecifes artificiales) representarán un agente de afectación directa de la dinámica costera del sitio. No obstante, el cambio en la dinámica sólo se presentará en el área de ubicación de los arrecifes artificiales como fue mostrado en el estudio técnico realizado en la zona (Anexo II.1) sin tener efecto alguno en el resto del área del SAR o en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.
11. El retiro de los espigones y la sustitución de éstos por andadores piloteados, ayudará a la recuperación de la zona ya que permitirá el libre flujo del agua

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

- y paso de sedimento ayudando a sí a la regeneración del sitio, pues su instalación trajo consigo efectos adversos en la playa.
12. El sedimento que será usado para la regeneración de la playa será obtenido de bancos en donde se ubica el sedimento que se ha perdido por erosión por lo que únicamente se realizará la recuperación de dicho sedimento y se reubicará en la playa de donde provino, lo cual ayudará a mejorar las condiciones actuales de la playa.
  13. La construcción de proyectos, puede significar un agente contaminante. Sin embargo, los componentes ambientales no se verán afectados por el tipo y la cantidad de residuos generados pues se implementarán las acciones necesarias para evitarlo.
  14. Finalmente, el proyecto involucra obras y actividades que, si bien ocasionarán impactos ambientales, éstos fueron evaluados como compatibles y moderados, por lo que los efectos no perjudicarán la integridad funcional del SAR. Asimismo, se implementarán las medidas necesarias para prevenir, mitigar y compensar estos efectos ambientales en pro de la protección y conservación del ambiente.

Por lo antes expuesto, el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” se considera viable en términos ambientales en tanto se tomen las medidas necesarias en el desarrollo del mismo y se cumpla con una adecuada protección del entorno.

### V.8. Referencias

- Abella, E.2010. Factores ambientales y de manejo que afectan al desarrollo embrionario de la tortuga marina *Caretta caretta*. Implicaciones en programas de incubación controlada. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. España.
- Alcolado, P.1976. Crecimiento, variaciones morfológicas de la concha y algunos datos biológicos del cobo *Strombus gigas* L. (Mollusca, Mesogastropoda). Serie Oceanológica.34.1 – 36.
- Aldana Aranda, D. y M. Pérez Pérez.2007. Abundance and distribution of queen conch (*Strombus gigas*, Linné 1758) veligers of Alacranes Reef, Yucatan, Mexico. *Journal of Shellfish Research* 26(1):59-63
- Aminti, P. y P. Billi.1984. An investigation of the effects of breakwaters on beach sediment characteristics. *CATENA* 11(4): 391-400.
- Arzola, F. y J. Armenta.1994. Análisis comparativo de los factores ambientales en nidos naturales y nidos trasladados y su efecto en crías de tortuga golfina, *Lepidochelys olivacea* en la playa El Verde, Mazatlán, Sinaloa, durante la temporada 1992-1993. Tesis de Biología, Instituto Tecnológico de Los Mochis, México, 72 p.
- Basinski T., Pruzsak Z., Tarnoska M. y Zeidler R. 1993. Seashores Protection. Publisher Institute of Hydroengineering PAS, Gdansk.
- Bologaro Crevenna A., A. Z. Márquez García, V. Torres Rodríguez y A. García Vicario.2010. Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, p.73-96. En: A. V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J. L. Rojas Galaviz (ed.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. SEMARNAT-INE, UNAM ICMYL, Universidad Autónoma de Campeche.514 p.
- Bootcheck J. 1996. Hydrodynamics and sediment transport in the vicinity of submerged breakwaters. Tesis de Maestría. Universidad de Florida.94 pp.
- Bravo Castro, M. 2009. Abundancia de larvas de Caracol rosa *Strombus gigas* en Quintana Roo. México. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Conkal, Conkal, Yucatán, México.
- Bricio L., Negro V. y Diez J. 2008. Geometric Detached Breakwater Indicators on the Spanish Northeast Coastline *Journal of Coastal Research*, 24(5), 1289–1303. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.



- Bricio Garberí L., Negro Valdecantos J., Diez González J. 2007. Parámetros geométricos de diques exentos en el litoral catalán Ingeniería Civil 147.
- Briseño Dueñas, R. y F. Abreu Grobois.1998. Las tortugas y sus playas de anidación en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. P066. México D. F.
- Burt, J ., A. Bartholomew, y P. Sale. 2011. Benthic development on large-scale engineered reefs: A comparison of communities among breakwaters of different age and natural reefs Ecological Engineering. 37(2): 191-198.
- Carranza-Edwards, A., A. Zoilo Márquez-García, C. Tapia-Gonzalez, L. Rosales-Hoz y M. Alatorre-Mendieta.2015. Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe noroeste Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 67, núm.1, 2015, p.21-43.
- Carrillo González F., J. Ochoa, J. Candela, A. Badan, J. Sheinbaum y J. I. González Navarro.2007. Tidal currents in the Yucatán Channel. Geofís. Int.46: 199-209
- Cervantes, A y E., Quintero, 2016. La importancia de conservar las praderas de pastos marinos. Biodiversitas.12-16.
- Coronado C., J. Candela, R. Iglesias Prieto, J. Sheinbaum, M. López y F. J. Ocampo-Torres.2007. On the circulation in the Puerto Morelos fringing reef lagoon. Coral Reefs 26:149-163
- Corral, J. L. y J. Ogawa.1987. Cultivo masivo de Strombus gigas en estanques de concreto. Proc. Gulf. Carib. Fish. Inst.38: 354-351
- Chávez Villegas J., M. Enríquez Díaz y D. Aldana Aranda 2014 Abundancia y diversidad larval de gasterópodos en el Caribe Mexicano en relación con la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol.62 (Suppl.3): 223-230, September 2014
- Chávez Villegas J., M. Enríquez Díaz, J. Cid Becerra y D. Aldana Aranda.2012. Abundancia y distribución de larvas de Strombus gigas (Mesogastropoda: Strombidae) durante el período reproductivo de la especie en el Caribe Mexicano Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol.60 (Suppl.1): 89-97, March 2012.
- Chen L., Jeng D., Liao C. y Tong D.2019. Wave-Induced Seabed Response around a Dumbbell Cofferdam in Non-Homogeneous Anisotropic Seabed. J. Mar. Sci. Eng. 2019, 7(6), 189; <https://doi.org/10.3390/jmse7060189>.



- Creter R., Garffa T. y Schmidt C., 1994. Enhancement of beach fill performance by combination with an artificial submerged reef system. En: Tate L. (Eds.). Proc 7th National Conference on Beach Preservation Technology. Florida Shore and Beach Preservation Association, Talahassee, FL., 69-89.
- De Jesús-Navarrete, A., M. Domínguez-Viveros, A. Medina-Quej y J. Oliva-Rivera.2000. Crecimiento, mortalidad y reclutamiento del caracol *Strombus gigas* en Punta Gavilán, Q. Roó, México. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No.14
- Davis M., C. A. Bolton, y A. W. Stoner.1993. A comparison of larval development, growth, and shell morphology in three Caribbean *Strombus* species. *Veliger* 36: 236-244.
- De Jesús Navarrete, A.1999. Distribución y abundancia de larvas velígeras de *Strombus gigas* en Banco Chinchorro Quintana Roo, México. Tesis doctoral, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- De Jesús-Navarrete, A., M. Domínguez-Viveros, A. Medina-Quej, y J. Oliva-Rivera.2000. Crecimiento, mortalidad y reclutamiento del caracol *Strombus gigas* en Punta Gavilán, Q. Roó, México. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No.14
- Doerr J. y R. Hill.2007. A Preliminary Analysis of Habitat Use, Movement, and Migration Patterns of Queen Conch, *Strombus gigas*, in St. John, USVI, Using Acoustic Tagging Techniques Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute November 5 - 9, 2007 Punta Cana, Dominican Republic
- Doerr J. y R. Hill.2013. Home Range, Movement Rates, and Habitat Use of Queen Conch, *Strombus gigas*, in St. John, U. S. Virgin Islands *Caribbean Journal of Science* 2013 : Vol.47, Number 2-3, pg(s) 251- 259 <https://doi.org/10.18475/cjos.v47i3.a13>
- DOF: 19/07/2017. Acuerdo por el que se modifica el similar por el cual se establecen periodos de veda para la pesca comercial de caracol rosado o blanco (*Strombus gigas*) en aguas de jurisdicción federal correspondientes al litoral del Estado de Quintana Roo, publicado el 13 de febrero de 2009.
- DRAFT EIS.2011. St Lucie County South Beach and Dune Restoration Project 2,' 2011. DRAFT ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT. <http://www.dunewalkbytheocean.com/ace/2011-05%20USACE%20Draft%20Environ%20Impact%20stmt.pdf>



- Fuxjager, M., Eastwood B. y K. Lohmann.2011. Orientation of hatchling Loggerhead Sea turtles to regional magnetic fields along a transoceanic migratory pathway. *The Journal of Experimental Biology* 214, 2504-2508 © 2011. Published by The Company of Biologists Ltd doi:10.1242/jeb.055921
- Gallopín, J. C.1997. "Indicators and their Use: Information for Decision Making", en Moldan B. Billharz S, Matraers, R. (eds.), *Sustainable Indicators: A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development*, Chichester, John Riley & Sons.
- Ga-Young C. y K. Eckert.2009. Manual de Mejores Prácticas para la Protección de Playas de Anidación de Tortugas Marinas. Red de Conservación de Tortugas Marinas en el Gran Caribe (WIDECAS). Informe Técnico No.9. Ballwin, Missouri.96 pp.
- Glenn, L.1996. The orientation and survival of loggerhead sea turtle hatchlings (*Caretta caretta*) in the near shore environment. Masters thesis. Florida Atlantic University, Boca Raton.
- Gourlay, M. 1981. Beach processes in the vicinity of offshore breakwaters and similar natural features. In: *Proceedings of the 5th Australian Conference on Coastal and Ocean Engineering* (Perth, Australia), pp. 8–9
- Green, K.2002 - Beach nourishment: a review of the biological and physical impacts. ASMFC (Atlantic States Marine Fisheries Commission), *Habitat Management Series*, 7: 174 pp.
- Hamanna, M., A. Grecha, E. Wolanski, J. Lambrechts.2011. Modelling the fate of marine turtle hatchlings. *Ecological Modelling* 222 (2011) 1515–1521
- Hendrickson, J. R.1958. The green sea turtle, *Chelonia mydas* (Linn.) in Malaya and Sarawak. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 130, 455-535.  
[http://www.trafficj.org/publication/02\\_Queen\\_Conch.pdf](http://www.trafficj.org/publication/02_Queen_Conch.pdf)
- Hesse, K. O.1979. Movement and migration of the queen conch, *Strombus gigas*, in the Turks and Caicos Islands. *Bull. Mar. Sci.*29: 303–311.
- Hesse, K. O.1980. Gliding and climbing behaviour of the queen conch *Strombus gigas*. *Caribb. J. Sci.*16: 105– 108.
- Hill A ., L. Veale , D. Pennington, S. Whyte, A. Brand y R. . Hartnoll.1999. Changes in Irish Sea Benthos: Possible Effects of 40 years of Dredging Estuarine, Coastal and Shelf Science 48, (6): 739-750.

- Hitchcock D y S. Bell.2004. Physical Impacts of Marine Aggregate Dredging on Seabed Resources in Coastal Deposits. *Journal of Coastal Research* 20, (1): 101-114.
- ICES. International Council for the Exploration of the Sea.1996. Annual Report Proces-Verbal de la Reunion.84th Statutory Meeting. <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/ICES%20Annual%20Report/1996AnnualReport.Pdf>
- Jeng D. 2018 *Mechanics of Wave-Seabed\_structure Interactions. Modelling, Processes and Applications.* Cambridge University Press.
- Kinder, T. H.1983. Shallow currents in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico as observed with satellite tracked drifters. *Bull. Mar. Sci.*33: 239-246.
- Kubowicz-Grajewska A., 2015. Morpholithodynamical changes of the beach and the nearshore zone under the impact of submerged breakwaters -a case study (Orłowo Cliff, the Southern Baltic). *Oceanologia* (2015) 57, 144-158.
- Lardelli García A. 2014. “Propuesta Metodológica Para La Instalación De Museos Submarinos Cerca De La Costa” Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Caminos, Canales Y Puertos. Universidad De Granada <http://digibug.ugr.es/handle/10481/32389?show=full>
- Leal, J. H.2003 *Gastropods.* p.99-147. In Carpenter, K. E. (ed.). *The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras.* FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No.5.1600p.
- Lohmann, K., M. Salmon y J. Wyneken.1990. Functional Autonomy of Land and Sea Orientation Systems in Sea Turtle Hatchlings. *Biological Bulletin* Vol.179, No.2: 214-218.
- Manny, B., W. Schloesser, C. Brown, L. French y R. John 1985. Environmental Impact Research Program. Ecological Effects of Rubble-Mound Breakwater Construction and Channel Dredging at West Harbor, Ohio (Western Lake Erie) ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION VICKSBURG MS ENVIRONMENTAL LAB <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA161755>.
- Márquez, R., 1996. *Las tortugas marinas y nuestro tiempo.* FONDO DE CULTURA ECONÓMICA. Impreso en México.104 pp.

- Mendoza Avila V.2018. Comportamiento Hidrodinámico De Un Rompeolas Como Función Del Tipo De Lecho Marino. Tesis de Ingeniería Civil. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Merino Ibarra, M.1986. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe Mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-2/articulo216.html>
- McGehee, M.1979. Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). Thesis. B. S., Presbyterian College, USA 252 p.
- Ming, D. y Chiew, Y. 2000. Shoreline changes behind detached breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 126(2), 63–70.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2008. Guía metodológica para la instalación de arrecifes artificiales. Gobierno de España. [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/Gu%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20instalaci%C3%B3n%20de%20arrecifes%20artificiales\\_tcm30-157012.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/Gu%C3%ADa%20metodol%C3%B3gica%20para%20la%20instalaci%C3%B3n%20de%20arrecifes%20artificiales_tcm30-157012.pdf)
- Morreale, S. J., G. J. Ruiz, J. R. Spotila y E. A Standora, 1982. Temperature dependent sex determination: Current practices threaten conservation of sea turtles. *Science*, 216:1245-1247.
- Morrison, M, M. L. Lowe, C. Grant, P., Smith, G., Carbines, J., Reed, S., Bury y J., Brown.2014. Seagrass meadows as biodiversity and productivity hotspots. *New Zealand Aquatic Biodiversity and Biosecurity Series*.137. [file:///C:/Users/Teo/Downloads/AEBR-137-Seagrassmeadowsasbiodiversityandproductivityhotspots%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Teo/Downloads/AEBR-137-Seagrassmeadowsasbiodiversityandproductivityhotspots%20(1).pdf)
- Newell, R., L. Seiderer y D. Hitchcock.1998. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. *Oceanography and Marine Biology* 36, 127-178.
- Nicoletti, L., D. Paganelli y M. Gabellini.2006. Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal for a monitoring protocol. *Quaderno ICRAM*. N.5: 55 pp.
- Noguez Núñez, M. y D. Aldana Aranda.2014. Eco-etología básica del caracol rosa *Strombus gigas* (Mesogastropoda: Strombidae), en Xel-Há, Yucatán, Caribe mexicano *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol.62 (Suppl.3): 215-222, September 2014



- OCDE.1993. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews: A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment, París, OCDE.
- Peel, J.2012. Dinámica poblacional y utilización ontogénica del hábitat por el caracol rosa (*Strombus gigas*), en el parque Xel-Há, Quintana Roo, México Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida Departamento de Recursos del Mar.
- Pérez Pérez, M.2004. Segregación de la población de *Strombus gigas* del Arrecife Alacranes con respecto a las poblaciones del Norte de Yucatán y el Caribe Mexicano Tesis de Ph. D., Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Mérida, Yucatán, México.
- Phillips, N. y A. Milchakova, 2003. Морський екологічний журнал, № 2, Т. II.2003.
- Phillips, R. C., 1992 The seagrass ecosystem and resources in Latin America. Academic press, Inc., San Diego, California 107-121.
- Piedra-Castro. L; y V., Morales-Cerdas, 2015. Preferencias en la anidación de tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*) y baulas (*Dermochelys coriacea*) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica. Tecnología en Marcha.28 (3): 86-98.
- Pike, D.2008. Natural beaches confer fitness benefits to nesting marine turtles. Biology Letters: 4, 704–706.
- Prent, P.2013. Spatial size distribution of queen conch (*Lobatus gigas*) veligers in relation with ocean surface currents in Lac Bay, Bonaire. M. Sc. Thesis, Wageningen University.31 p.
- Rodríguez Duarte J. y J. Velázquez-Abunader.2016. Efecto de diferentes medidas de manejo sobre la densidad y distribución de la población de caracol rosado (*Lobatus gigas*) en la Reserva de la biosfera Banco Chinchorro (Caribe Mexicano): periodo 1989 – 2016.
- Rodríguez-Martínez, R; B., Tussenbroek y E., Jordán-Dahlgren, 2016. Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015).
- Rodríguez-Sevilla, L., R. Vargas y Cortés, J.2009 Benthic, shelled gastropods. p.333-356 Wehrtmann, I. S.; Cortés, J.2009. Marine biodiversity of Costa Rica, Central America. Springer 538pp.
- Rosenberg, G., 2009 Malacología 4.1.1: A Database of Western Atlantic Marine Mollusca. [WWW database (version 4.1.1)] URL <http://www.malacolog.org/>.



- Ruiz-Martínez, G, R. Silva-Casarín, y G. Posada-Vanegas. Comparación morfodinámica de la costa noroeste del estado de Quintana Roo, México. Tecnología y Ciencias del Agua [en línea] 2013, IV (Julio-Agosto) : [Fecha de consulta: 21 de septiembre de 2018] Disponible en:<[http://www. redalyc. org/articulo. oa?id=353531983003](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531983003)> ISSN
- Salmon, M. y J., Weneken, 1994. Orientation by hatchling sea turtles: Mechanisms and implications. *Herpetol. Nat. Hist.*2.
- SANDPIT, 2005. Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mine Pits. EU Project EVK3-2001-00056. Blokzijl, The Netherlands: Aqua Publications.600p.
- Sassa S. y Sekiguchi H.1999.Wave-induced liquefaction of beds of sand in a centrifuge.*Geotechnique*, 49 (5) (1999), pp. 621-638
- Sciarrone R., Melendez R. y Loschacoff S. Rompeolas Aislados Como Estructuras De Proteccion Costera, Recuperacion De Playas. <http://www.aadip.org.ar/pdf/papers/seccion1/Sciarrone-Loschacoff.pdf>
- Shawl, A., 2001. Closing the cycle: captive breeding for the gastropod strombus **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.**
- Shraban K., M. Pratap, K. Prabin, B. Balaji y K. Sisir., 2014. Environmental cues for mass nesting of sea turtles. *Ocean & Coastal Management* 95.
- Sharif A. 2016. Numerical Models for Submerged Breakwaters, Coastal Hydrodynamics and Morphodynamics. 1-15.
- Shen J., Wu H., Zhang Y. 2017. Subsidence estimation of breakwater built on loosely deposited sandy seabed foundation: Elastic model or elasto-plastic model *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* 9 (2017) 418e428.
- Spotila, J., E. Standora, S. Morreale, y G. Ruiz de Clark.1981. Effects of incubation temperature on the sex of hatchling Caribbean green turtles. Final Report to Rutgers University for sub-grant activity on usfws Project 14-16-002-80-222.29 p
- Steinitz M, M. Salmon y J. Wyneken.1998. Beach Renourishment and Loggerhead Turtle Reproduction: A Seven Year Study at Jupiter Island, Florida*Journal of Coastal Research* Vol.14, (3):1000-1013.
- Stoner, A., R. Glazer, y P. Barile.1996. Larval supply to queen conch nurseries: Relationships with recruitment process and population size in Florida and the Bahamas. *J. Shellfish Res.*, 15(2): 404–420



- Stoner, A., N. Mehta y N. Lee.1997. Recruitment of *Strombus veligers* to the Florida Keys reef tract: relation hydrographic events. *J. Shellf. Res.*16:1-6.
- Stoner, A.2003. What constitutes essential nursery habitat for a marine species. A case study of habitat form and function for queen conch. *Marine Ecology Progress Series.*257: 275-289.
- Suárez Morales, E. y E. Rivera Arriaga.1998. Zooplancton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 8 (1): 19-32.
- Tagliafico, A; Rangel, S. Rago, N.2012. Distribución, densidad y estructura de tallas del género *Strombus* (Gastropoda: Strombidae) de la isla de Cubagua, Venezuela *Interciencia*, vol.37, núm.5, mayo, 2012, pp.381-389 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela.
- Tewfik A, H. Guzmán, y G. Jacome.1998. Assessment of the queen conch. *Strombus gigas* (Gasteropoda, Strombidae) population in Cayos Cochinos, Honduras. *Revista de Biología Tropical* 46: 137-150.
- Tewfik A. y H. Guzman.2003. Shallow-water distribution and population characteristics of *Strombus gigas* and *S. costatus* (Gastropoda: Strombidae) in Bocas del Toro, Panama. *Journal of Shellfish Research.*22.789-794.
- Theile, S.2001. Queen Conch fisheries and their management in the Caribbean. TRAFFIC Europe.
- Torrey, M.1978. Morfogénesis de los vertebrados. Editorial Limusa, México.776 pp
- Tunji L., Hashim M.,y Wan Yusof K. 2012. Shoreline Response to Three Submerged Offshore Breakwaters along Kerteh Bay Coast of Terengganu. Civil Engineering Department, Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 4(16): 2604-2615.
- Van Moorsel, G. y H. Waardenburg.1990. Impact of gravel extraction on geomorphology and the macrobenthic community of the Klaverbank (North Sea) in 1989. *Rapport Bureau Waardenburg BV, Culemborg, The Netherlands.*
- Van Moorsel, G. y H. Waardenburg.1991. Short-term recovery of geomorphology and macrobenthos of the Klaverbank (North Sea) after gravel extraction. *Rapport Bureau Waardenburg BV, Culemborg, The Netherlands.*
- Van Moorsel, G.1993. Long-term recovery of geomorphology and population development of large molluscs after gravel extraction at the Klaverbank (North Sea). *Rapport Bureau Waardenburg BV, Culemborg, The Netherlands.* Transport, Public Works & Water Management, The Netherlands.

- Van Rijn. 2013. Design of hard coastal structures against erosion <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Coastalstructures2013.pdf>
- Wentworth, K.1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. Journal of Geology, Vol.30, No.5, 1922, pp.377-392.
- Whelan, C. y J. Weneken.2007. Estimating Predation Levels and Site-Specific Survival of Hatchling Loggerhead Seaturtles (*Caretta caretta*) from South Florida Beaches Copeia. Vol.2007, No.3: 745-754.
- Wilber D. D. Clarke, G. Ray y M. Burlas.2003. Response of surf zone fish to beach nourishment operations on the northern coast of New Jersey, USA. Marine Ecology Progress Series, 250: 231-246.
- Zhao H., Jeng D., Zhang H., Zhang J., · Zhang H. 2016. 2-D integrated numerical modeling for the potential of solitary wave-induced residual liquefaction over a sloping porous seabed · J. Ocean Eng. Mar. Energy (2016) 2:1–18
- Zhang Y., Ye J., He K., Chen S. 2019. Journal of Marine Science and Engineering Article Seismic Dynamics of Pipeline Buried in Dense Seabed Foundation. J. Mar. Sci. Eng. 7, 190; doi:10.3390/jmse7060190

### Sitios web

- <http://www.florafauyacultura.org/espacios/3/campamentos-tortugeros/>).
- [www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/mundo-vivo/19592-quintana-roo-tortugas-marinas-en-mexico](http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/mundo-vivo/19592-quintana-roo-tortugas-marinas-en-mexico)).
- [geiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_R\\_PESCA05\\_03&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://geiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_PESCA05_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce).
- <https://www.sealifebase.ca/search.php>
- <https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/proteccion-recursos-pesqueros/arrecifes-artificiales/aspectos-tecnicos/>
- <https://sipse.com/novedades/supera-cifras-la-temporada-de-anidacion-de-tortugas-fundacion-ecologica-bahia-principe-hotel-luxury-bahia-principe-akumal-203422.html>).

# CAPÍTULO VI

ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS  
AMBIENTALES, ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA  
AMBIENTAL REGIONAL



## ÍNDICE

VI. ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL.....	2
V.1 Introducción.....	2
VI.2 Descripción de la medida o programa de medidas de mitigación o correctivas por componente ambiental.....	2
VI.2.1 Programa de Manejo Ambiental (PMA).....	3
VI.2.1.1 Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina (SRRFM) .....	69
VI.2.1.2 Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero .....	74
VI.2.1.3 Subprograma de Contingencia ante algún derrame u otras afectaciones a los ecosistemas. ....	77
VI.2.1.4 Subprograma de Acciones Independientes (SAI).....	79
VI.3 Conclusiones generales .....	82
VI.4 Referencias .....	83

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

### VI. ESTRATEGIAS PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES ACUMULATIVOS Y RESIDUALES DEL SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL

#### V.1 Introducción.

Como se mostró en el capítulo V de este documento, la ejecución del Proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” implica inevitablemente efectos adversos al ambiente. Estos efectos no significarán daños que pongan en peligro la integridad ecológica del ambiente. Sin embargo, si implicarán cambios a nivel puntual y local por lo que con el fin de mantener las condiciones ambientales actuales del SAR e incluso mejorarlas, se propone la aplicación de buenas prácticas ambientales. Ante esto, después de haber identificado y valorado los impactos ambientales potenciales que este proyecto puede ocasionar en el SAR y en virtud de que el objetivo de una evaluación de impacto ambiental es prevenir y corregir los efectos adversos al ambiente generados por la realización de un proyecto, se señalan en este capítulo las medidas propuestas que atenderán a los impactos ambientales tanto aquellos valorados con mayor incidencia, como aquellos que no la presentan con el fin de no omitir ningún efecto adverso en el ambiente.

A continuación, se describen de manera general las medidas a implementar para evitar los efectos sobre el ambiente.

#### VI.2 Descripción de la medida o programa de medidas de mitigación o correctivas por componente ambiental.

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental, en su Artículo 3º fracción XIII define a las medidas de prevención como: “**conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para evitar efectos previsibles de deterioro del ambiente**”, y en su fracción XIV a las medidas de mitigación como “**el conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas**”.

Considerando las definiciones antes descritas, en este capítulo se señalarán las medidas de prevención, mitigación o compensación que serán implementadas



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

de acuerdo a los efectos generados por la ejecución del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”.

En las tablas siguientes se muestran las claves de los impactos que serán atendidos por cada medida o medidas con una descripción general de ellos. Las claves fueron construidas de acuerdo al factor ambiental afectado, el elemento del proyecto y un número consecutivo para cada impacto de cada factor ambiental. A continuación, se muestra el significado de cada elemento que forma la clave de cada impacto.

**Tabla 1.** Elementos usados en la conformación de la clave de cada impacto ambiental.

Factor ambiental	Clave	Elemento del proyecto	Clave
Agua marina	AM	Arrecifes artificiales	ro
Fondo marino	FM	Translocación de arena	ta
Dinámica Costera	DC	Relleno de playa	re
Biota Marina	BM	Retiro de espigones	es
		Andadores piloteados	an
		Mantenimiento andadores piloteados	man

### VI.2.1 Programa de Manejo Ambiental (PMA)

En el capítulo V de esta MIA-R se manifestaron, identificaron y evaluaron los impactos ambientales previsibles que potencialmente puede inducir el proyecto en el SAR descrito en el Capítulo IV. Su posible generación obliga a definir con anticipación las medidas necesarias para prevenir, mitigar, o compensar, según sea el caso, los impactos ambientales esperados en la implementación del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” e integrarlas de manera precisa y coherente en un





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

marco específico de gestión y manejo integrado. Para el cumplimiento de esos fines, se propone este PMA.

Para el desarrollo de las obras en sus diferentes etapas se aplicará el **Programa de Manejo Ambiental (PMA) del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”** para cumplir con cada una de las medidas previstas. Este PMA, establecerá la manera adecuada de realizar cualquier obra o actividad (considerando las medidas de prevención, mitigación y compensación que sean propuestas en esta MIA-R, y las que la autoridad ambiental proponga) para cada una de las diferentes etapas del proyecto.

Las acciones antes propuestas serán integradas en este PMA, el cual estará conformado por los siguientes subprogramas:

- Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina (**SRRFM**)
- Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero (**SMPC**)
- Subprograma de Contingencia ante derrames u otras afectaciones al ambiente (SCD)
- Subprograma de Acciones Independientes (**SAI**)

Los objetivos que se persiguen con la implementación de este PMA son los siguientes.

### Objetivos.

Los objetivos principales de este PMA son los siguientes:

1. Realizar las acciones necesarias para verificar de manera completa el cumplimiento estricto de los términos y condicionantes ambientales que la SEMARNAT imponga al proyecto al momento de su autorización, así como de la legislación y normatividad ambiental aplicable.
2. Verificar, supervisar, coordinar y en su caso implementar las medidas de prevención, mitigación, manejo y monitoreo que se describen en este Capítulo, así como las que considere la autoridad ambiental.
3. Corroborar que las medidas propuestas prevengan, minimicen o compensen los impactos ambientales que genere el proyecto.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

4. Evaluar la eficacia de las medidas de prevención y mitigación de impactos ambientales propuestas por el promovente y de ser el caso, aquellas que considere la autoridad ambiental.
5. Identificar alteraciones ambientales no previstas en esta MIA-R
6. Establecer medidas correctivas, en caso de que se identifiquen afectaciones no previstas en la MIA-R o se detecte que las medidas propuestas no son suficientes para contener los impactos ambientales generados por el proyecto.

### **Alcances.**

La finalidad del presente PMA es establecer las medidas necesarias para prevenir, mitigar o compensar la afectación a los componentes ambientales que serán impactados por la ejecución del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”. Las medidas establecidas en este PMA serán responsabilidad tanto del promovente como del personal que será el encargado de llevar a cabo el proyecto, así como de los trabajadores y huéspedes del hotel asociado al proyecto.

### **Supervisión y vigilancia de las obras, procesos y actividades autorizadas**

Para garantizar el cumplimiento de las obligaciones ambientales que establezca la SEMARNAT al proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, mediante esta estrategia durante sus etapas de ejecución, se contará con un responsable de la supervisión ambiental que se coordinará con el responsable de ejecución del proyecto, para planificar conjuntamente y establecer acuerdos previos que permitan cumplir en la práctica diaria con las obligaciones ambientales aplicables a cada etapa, identificar en términos verificables que se están cumpliendo con las medidas propuestas y que los impactos que fueron identificados estén siendo atendidos y en caso de presentarse impactos no previstos aplicar medidas complementarias para reducirlos y mantenerlos en niveles no significativos.

A continuación, se presentan de manera general las acciones propuestas, que se considera permitirán prevenir, mitigar, restaurar o compensar, según sea el caso, los impactos ambientales esperados en cada una de sus etapas de implementación.



## **PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

---

El presente PMA considera en todo momento su mejora continua desde el momento de la concepción de las ideas básicas para el desarrollo del proyecto, a lo largo de las diferentes etapas de su implementación y hasta su etapa de operación y mantenimiento.

A continuación, se presentan de manera general las acciones propuestas, que se considera permitirán prevenir, mitigar, restaurar o compensar, según sea el caso, los impactos ambientales esperados en cada una de sus etapas de instrumentación.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 2.** Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino. Factor ambiental: AGUA Y FONDO MARINO.

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<p><b>Impactos AMro1, AMta1, AMre1, AMes1, AMan1, FMro1, FMta3, FMes1, FMan1.</b></p> <p>Alteración de las características físico-químicas del agua y fondo marino debido a la resuspensión de sedimento</p>	<p>La afectación al agua y al sedimento por la resuspensión de este último será inevitable, sin embargo, para prevenir que este sedimento se disperse más allá de la zona de afectación, se colocará una malla geotextil alrededor de las obras (arrecifes artificiales, translocación de arena, retiro de espigones e instalación de andadores) de 0.5 mm de luz, que se prolongará hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos. Ésta, será fijada al fondo mediante alcayatas y muertos. Esta malla contará con boyas para</p>	<p>Construcción de arrecifes artificiales, retiro de espigones, construcción de andadores, translocación de arena y relleno de playa.</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que la malla sea instalada correctamente, lo cual será registrado en una bitácora.</p> <p>Esta medida será cumplida al 100%</p>





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>que sea visible y funja además como señalización para los turistas o visitantes. En caso de que la malla sufra algún daño o se rompa, se detendrán las acciones hasta que ésta pueda ser sustituida y en caso de que pedazos de la misma se hayan separado, éstos serán colectados a la brevedad para evitar que sean transportados a otras zonas.</p> <p>En el caso del relleno de playa, considerando que el vertido de arena en la playa se llevará a cabo una vez que los arrecifes artificiales estén colocados y que se hará mediante una manguera en un sitio localizado, se espera que la resuspensión de sedimento sea menor, sin embargo, en caso</p>		<p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de incremento de turbidez en el agua fuera de la zona delimitada por la malla debido a las obras.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Evidencia fotográfica de uso de la malla y ausencia de incremento de turbidez en zonas aledañas fuera de la malla</p>





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>de observarse que la pluma de sedimento se disperse más allá de la zona de colocación de los AA, se detendrán las acciones y se colocará la malla geotextil. Además, se construirá una tarquina que tiene como objetivo recibir la arena, contenerla y minimizar la cantidad de sedimento que se pueda dispersar.</p> <p>Se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables respecto a la turbidez.</p>		geotextil debido a las obras.
<b>Impacto FMta1.</b>	Este impacto será local dado que se trata de arena que se ha sedimentado en esa	Translocación de arena.	Se contará con un supervisor ambiental







## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
Alteración de la cantidad de sedimento en el fondo marino debido a la extracción del mismo para su reubicación en la playa.	zona por el efecto de los espigones que se encuentran en el área. Estas estructuras funcionan como barreras que ocasionan que el sedimento erosionado de la playa seca se acumule en otros sitios. Es por ello que lo que se pretende hacer es reincorporar este sedimento en el área que fue perdido (playa seca), por lo que si bien el sedimento será removido del sitio y la cantidad local cambiará, éste será conservado en el SAR.		<p>quien será el encargado de verificar y supervisar que se obtenga la cantidad necesaria de sedimento para no afectar la zona.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Mantenimiento de la arena translocada en la zona de relleno.</p>
<b>Impacto FMta2.</b> Alteración de la profundidad en el área de succión debido a la extracción del sedimento	Si bien en los bancos potenciales se removerá sedimento modificando la profundidad, el efecto será local y las condiciones del sitio serán restablecidas, pues sólo se removerá el sedimento	Translocación de arena.	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que se



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
para su reubicación en la playa.	necesario para evitar el exceso de acumulación para hacer el relleno de la playa. Si la cantidad de arena en estos sitios no es suficiente (10,400 m <sup>3</sup> ) se usará entonces el sedimento donado por la API, para evitar cualquier afectación mayor a estos sitios y a la hidrodinámica.		obtenga la cantidad necesaria de sedimento para no afectar la zona.
<b>Impactos AMro2, AMes2, AMman1, AMan2 AMre2, AMta2 FMro2, FMes2, FMan2, FMman1, FMta4, BMta2.</b> Alteración de las características físico-químicas del agua y sedimento debido a la posible contaminación	Los residuos generados en este proyecto provendrán del personal que sea contratado para la colocación de las estructuras, además de las producidos por los residuos en la instalación y mantenimiento de los andadores y el uso de maquinaria por ello se implementarán las siguientes medidas:	Construcción de arrecifes artificiales, retiro de espigones, construcción de andadores y relleno de playa y operación y mantenimiento de	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean cumplidas, lo cual será registrado en una bitácora.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los residuos generados durante el proyecto serán dispuestos conforme al Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial Hotel Marina El Cid Spa &amp; Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos Q. Roo (Anexo V.2).</li> <li>Todos los residuos que se generen durante los trabajos, serán dispuestos diariamente en contenedores y canalizados a las instalaciones del hotel asociado al proyecto para ser atendidos mediante su Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial Hotel</li> </ul>	andadores de ser el caso.	<p>El grado de cumplimiento será de 100%.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de zonas contaminadas y residuos en el agua y fondo marino.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Ausencia de residuos en el agua.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>Marina El Cid Spa &amp; Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos Q. Roo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La disposición final de los residuos derivados del proyecto, estarán a cargo del servicio de colecta de basura autorizado por el Municipio de Puerto Morelos,</li> <li>• Se verificará que los trabajadores no arrojen ningún tipo de sustancia o residuo directamente al suelo o al mar.</li> <li>• Se prohibirá el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos no biodegradables.</li> <li>• Se prohibirá la quema de desechos sólidos y vegetación, y otro tipo de</li> </ul>		Residuos colocados en los contenedores específicos.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>basura, así como su entierro o disposición a cielo abierto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los trabajadores podrán utilizar las instalaciones del hotel asociado al proyecto para el depósito de los residuos generados, así como los sanitarios, y los servicios del comedor para empleados.</li> <li>A bordo de la embarcación se tendrán contenedores para basura orgánica e inorgánica donde se depositarán los residuos generados por los trabajadores, para posteriormente ser depositados en los sitios específicos para ello dentro de las instalaciones del hotel.</li> <li>Se verificará que las embarcaciones que sean utilizadas para la ejecución del</li> </ul>		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>proyecto se encuentren en buenas condiciones a través de la contratación de una empresa acreditada, la cual deberá demostrar que dichas embarcaciones han estado sujetas a revisión y mantenimiento constantes y que se encuentran en buenas condiciones para su uso.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los residuos que se generen por el empleo de equipos para la colocación de las estructuras, serán responsabilidad de la empresa que prestará el servicio de fabricación y colocación de las estructuras.</li> <li>• El mantenimiento del equipo en caso de falla se realizará en el patio de maniobras</li> </ul>		







**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

<b>Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO</b>			
<b>Etapas del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
	<p>existente en el Hotel, o en su caso en un taller fuera de la zona de operación de la obra. En caso de no poder realizar el traslado del equipo, se colocará una geomembrana plástica aislante debajo de la unidad para evitar el derrame de sustancias. No obstante, se implementará un Subprograma de Contingencia ante algún derrame accidental o demás afectaciones a los ecosistemas en el cual entre otras acciones incluirá: la detención de las actividades, el retiro de la maquinaria o embarcación para su revisión y reparación fuera del área y que estará a cargo de la empresa contratista, aislamiento del área afectada y</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>remoción del sedimento contaminado en tierra y el uso de cojines de absorción hasta eliminar cualquier residuo en el caso del agua. Lo desechos serán almacenados en una zona específica y serán dispuestos en centros especializados para ello</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se hará uso de aceite quemado y de otras sustancias tóxicas en el tratamiento de la madera para la construcción de los andadores.</li> <li>• No habrá generación de residuos peligrosos provenientes directamente de las obras del proyecto. Sin embargo, dado que se usará maquinaria, en el caso de que por algún incidente se generen</li> </ul>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>residuos peligrosos (estopas con aceite, combustible, etc.) éstos serán resguardados en la zona de disposición de residuos del hotel en donde se delimitará un sitio específico para ello, para que posteriormente sean enviados al sitio de disposición final.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La liberación de residuos de madera que emanen por el corte de pilotes y tablones durante la construcción de los andadores se recogerá en el momento en que estos sean generados y colocados en los recipientes que para estos fines ya tiene dispuesto el hotel, para evitar su dispersión al mar o a la playa a causa del viento.</li> </ul>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las estructuras que formarán a los arrecifes artificiales se trasladarán al sitio limpias, para evitar la contaminación del agua por cualquier residuo.</li> <li>El personal que se contrate, operadores y buzos contará con experiencia en este tipo de labores para evitar accidentes y alguna afectación al personal y al medio.</li> <li>Se colocarán señalamientos con leyendas que prohíban arrojar basura en la playa y zona marina.</li> </ul>		
<b>Impactos: FMro3, FMro4, FMre1, FMan3, FMes3.</b> Modificación de la	No existe una medida de mitigación para estos impactos que serán permanentes. No obstante, es relevante mencionar que serán impactos locales cuyos efectos se restringirán únicamente al área de afectación directa. Por otro lado, cabe señalar que al eliminar los		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en AGUA y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena y relleno de playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
topografía del fondo marino debido al retiro e instalación de elementos ajenos al ambiente.	<p>espigones que actualmente se encuentran en el área y sustituirlos por andadores piloteados, se recuperará en gran parte la topografía que el sitio presentaba antes de su instalación.</p> <p>Es de hacer notar que los arrecifes artificiales y la traslocación de arena se proponen como una medida para recuperar la playa debido al proceso erosivo que sufre y que se ha visto incrementado por la presencia de la marina, los espigones y el muelle pues funcionan como barreras para el transporte de sedimento. De esta forma, el proyecto se vislumbra como una medida integral para coadyuvar a la regeneración de la playa, esperando, asimismo, que esto se vea reflejado en la biota del sitio, ya que las estructuras servirán como sustrato y refugio para muchas especies.</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 3.** Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino. Factor ambiental: BIOTA MARINA.

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<p><b>Impacto BMro1.</b> Pérdida de hábitat</p>	<p>En la zona marina se aprovechará una superficie de 0.4186 ha, por los arrecifes artificiales, de los cuales las estructuras del sur ocuparán 0.3358 ha y la del norte, 0.0828 ha. El área total de afectación corresponde al 0.15 % del área total del SAR (267.37 ha), por lo que se trata de un área muy pequeña de afectación en el hábitat y en la biota marina. Se reitera que, si bien los procesos marinos no son lineales, las dimensiones y disposición de los AA determinan en gran medida el efecto en el área, el cual estará</p>	<p>Previo a la preparación del sitio.</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que la medida sea llevada a cabo.</p>
<p><b>Impacto BMro2</b> Mortandad o daño de las especies silvestres, las citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 por aplastamiento.</p>			<p>El grado de cumplimiento será de 100%.</p>
<p><b>Impacto BMre1.</b></p>			<p><b>Indicador de eficacia y eficiencia:</b>  Número de individuos rescatados y reubicados.</p>





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
Mortandad o daño de las especies silvestres por enterramiento debido a la disposición de arena para la recuperación de la playa.	restringido a la zona de protección directa, sin afectar predios aledaños dentro o fuera del SAR.  Respecto a la biota bentónica dado que se registró la presencia de especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo normativo III (DOF, 14/11/2019), además de otras especies importantes como corales escleractinios entre otros susceptibles de ser rescatados, se propone llevar a cabo un <b>Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina</b> para evitar la afectación de estos		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>organismos en todas las zonas de afectación (arrecifes artificiales y áreas de relleno de arena).</p> <p>Cabe mencionar que el impacto sobre la cobertura de la biota será temporal, ya que una vez que se establezcan los arrecifes artificiales, estos podrán ser colonizados. Las estructuras de protección fungirán como nuevo sustrato para el establecimiento de las especies. Por otro lado, con el retiro de los espigones y su cambio por andadores piloteados se dejará espacio libre (559.57 m<sup>2</sup>/espigón) para el establecimiento</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	de individuos que irán, de manera natural colonizando el área nuevamente.		
<b>Impactos BMro3, BMta1, BMre2, BMes1, BMan1.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres por resuspensión de sedimento	Para prevenir que el sedimento se disperse más allá de la zona de intervención y afecte a la biota, se colocará una malla geotextil alrededor de las obras (arrecifes artificiales, translocación de arena, retiro de espigones e instalación de andadores) de 0.5 mm de luz. Ésta será fijada al fondo mediante alcayatas y muertos y se prolongará hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las	Construcción de arrecifes artificiales, retiro de espigones, construcción de andadores y relleno de playa.	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que la malla sea instalada, lo cual será registrado en una bitácora.  <b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de incremento de turbidez en el agua fuera de la zona cubierta por la malla.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos. Esta malla contará con boyas para que sea visible y funja además como señalización para los turistas o visitantes.</p> <p>En el caso del relleno de playa, considerando que el vertido de arena en la playa se llevará a cabo una vez que los arrecifes artificiales estén colocados y que se hará mediante una manguera en un sitio localizado, se espera que la resuspensión de sedimento sea menor, sin embargo, en caso de observarse que la pluma de sedimento se disperse más allá de la</p>		<p><b>Indicador de eficacia:</b> Condiciones de los ambientes aledaños similares a las encontradas en la línea base.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>zona de colocación de los AA, se detendrán las acciones y se colocará la malla geotextil. Además, se construirá una tarquina que tiene como objetivo recibir la arena, contenerla y minimizar la cantidad de sedimento que se pueda dispersar.</p> <p>Se llevará a cabo, además, la vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables en lo que respecta a la turbidez.</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<p><b>Impacto BMro4.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la posible contaminación del agua por el mal manejo de residuos (sólidos y combustible).</p>	<p>Los residuos generados en este proyecto provendrán del personal que sea contratado para la colocación de las estructuras y de las embarcaciones usada para el transporte, además de las producidos por los residuos en la instalación y mantenimiento de los andadores por ello se implementarán las siguientes medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los residuos generados durante el proyecto serán dispuestos conforme al Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos Y de Manejo Especial Hotel Marina El Cid Spa &amp; Beach Resort Cancún Riviera</li> </ul>	<p>Construcción de arrecifes artificiales, retiro de espigones, construcción de andadores y relleno de playa y operación y mantenimiento de andadores de ser el caso.</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean cumplidas, lo cual será registrado en una bitácora. El grado de cumplimiento será del 100%.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de zonas contaminadas y residuos en el agua y fondo marino.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Ausencia de residuos en el agua.</p>







## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>Maya, Puerto Morelos Q. Roo del Hotel.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los residuos que se generen durante los trabajos, serán dispuestos diariamente en contenedores y periódicamente canalizados a las instalaciones del hotel asociado al proyecto para ser atendidos mediante su programa de manejo de residuos.</li> <li>• La disposición final de los residuos derivados del proyecto, estarán a cargo del servicio de colecta de basura autorizado por el Municipio de Puerto Morelos, cumpliendo así con el presente criterio</li> </ul>		<p>Residuos colocados en los contenedores específicos.</p> <p>Ambientes marinos sin residuos pertenecientes a las obras o provenientes del personal.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se verificará que los trabajadores no arrojen ningún tipo de sustancia o residuo directamente al suelo o al mar.</li> <li>• Se prohibirá el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos no biodegradables.</li> <li>• Se prohibirá la quema de desechos sólidos y vegetación, y otro tipo de basura, así como su entierro o disposición a cielo abierto.</li> <li>• Los trabajadores podrán utilizar las instalaciones del hotel para el depósito de los residuos generados, así como los sanitarios, y los servicios del comedor para empleados.</li> </ul>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A bordo de la embarcación se tendrán contenedores para basura orgánica e inorgánica donde se depositarán los residuos generados por los trabajadores, para posteriormente ser depositados en los sitios específicos para ello dentro de las instalaciones del hotel.</li> <li>• Se verificará que las embarcaciones que sean utilizadas para la ejecución del proyecto se encuentren en buenas condiciones a través de la contratación de una empresa acreditada, la cual deberá demostrar que dichas embarcaciones han estado sujetas</li> </ul>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>a revisión y mantenimiento constantes y que se encuentran en buenas condiciones para su uso. Los residuos que se lleguen a generar por el empleo de equipos para la colocación de las estructuras, serán responsabilidad de la empresa que prestará el servicio de fabricación y colocación de las estructuras. De ser necesario y en caso de ocurrir algún derrame, se implementará un Subprograma de Contingencia ante derrames.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estará prohibido realizar el mantenimiento, limpieza,</li> </ul>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>reparación de embarcaciones, abastecimiento de combustible y achicamiento de las sentinas, con excepción de casos de emergencia en la que se exponga la seguridad de vidas humanas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El mantenimiento del equipo en caso de falla se realizará en el patio de maniobras existente en el hotel, o en su caso en un taller fuera de la zona de operación de la obra. En caso de no poder realizar el traslado del equipo, se colocará una membrana plástica aislante debajo de la unidad para evitar el derrame de sustancias.</li> </ul>		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se hará uso de aceite quemado y de otras sustancias tóxicas en el tratamiento de la madera para la construcción de los andadores.</li> <li>La liberación de residuos de madera que emanen por el corte de pilotes y tablones durante la construcción de los andadores se recogerá en el momento en que estos sean generados y colocados en los recipientes que para estos fines ya tiene dispuesto el Hotel, para evitar su dispersión al mar o a la playa a causa del viento.</li> <li>Las estructuras que formarán a los arrecifes artificiales se trasladarán al</li> </ul>		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>sitio ya lavadas, para evitar la contaminación del agua por cualquier residuo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El personal que se contrate, operadores y buzos contará con experiencia en este tipo de labores para evitar accidentes y alguna afectación al personal y al medio.</li> <li>• Se colocarán señalamientos con leyendas que prohíban arrojar basura en la playa y zona marina.</li> </ul>		
<p><b>Impactos BMro7, Bmre4, Bman2.</b></p>	<p>Para prevenir que el sedimento se disperse más allá de la zona de afectación y afecte a la biota, se colocará una malla geotextil de 0.5 mm de luz alrededor de las obras</p>	<p>Construcción de arrecifes artificiales, retiro de espigones, construcción de</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que la malla sea</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
Afectación a los pastos marinos (áreas de alimentación de tortugas marinas y otras especies además de refugio) por resuspensión de sedimento durante la construcción de los arrecifes artificiales, retiro de espigones, instalación de andadores y relleno de playa.	<p>(arrecifes artificiales, retiro de espigones e instalación de andadores). Ésta será fijada al fondo mediante alcayatas y muertos y se prolongará hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos. Esta malla contará con boyas para que sea visible y funja además como señalización para los turistas o visitantes.</p> <p>En el caso del relleno de playa, considerando que el vertido de arena en la playa se llevará a cabo una vez</p>	andadores y relleno de playa.	<p>instalada, lo cual será registrado en una bitácora. Esta medida será c</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de incremento de turbidez en el agua fuera de la zona cubierta por la malla.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Pastizales en condiciones similares a las encontradas en la línea base</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>que los arrecifes artificiales estén colocados y que se hará mediante una manguera en un sitio localizado, se espera que la resuspensión de sedimento sea menor, sin embargo, en caso de observarse que la pluma de sedimento se disperse más allá de la zona de colocación de los AA, se detendrán las acciones y se colocará la malla geotextil</p> <p>Se construirá además una tarquina en la zona de playa que tiene como objetivo recibir la arena y minimizar la cantidad de sedimento que se disperse.</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	Se llevará a cabo, la vigilancia de la turbidez agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables en lo que respecta a la turbidez.		
<b>Impactos BMro6, BMro9.</b> Alteración del libre acceso de las especies de tortuga marina a las playas por la presencia de estructuras.	De acuerdo a estudios realizados en el área del proyecto se registró la presencia de especies listadas en la NOM- 059-SEMARNAT-2010. En la zona se tienen registros de anidación de tres especies de tortugas marinas. <i>Caretta caretta</i> , <i>Eretmochelys imbricata</i> y <i>Chelonia mydas</i> . En el análisis realizado	Construcción (arrecifes artificiales, rehabilitación de la playa y andadores piloteados)	Considerando que el programa de conservación se ha realizado ya por mucho tiempo, éste seguirá siendo supervisado por el personal del Hotel como hasta ahora. Este personal hará las revisiones pertinentes con el fin de observar si existen cambios en la época de



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<p><b>Impacto BMre4.</b> Alteración del hábitat de anidación de la tortuga marina debido a la disposición de arena para la rehabilitación de la playa</p>	<p>en el capítulo V de este documento, se mostró que el arribo de las tortugas a esta playa actualmente es muy escaso, además de que esta playa no forma parte de las que son consideradas de importancia para estas especies pues la densidad de nidos es muy baja.</p> <p>El efecto de las estructuras aún y cuando será un impacto permanente, éste será parcial ya que, si bien representan una barrera, estas estructuras contarán con una separación de 140 entre las estructuras del norte y de 620 m entre éstas y las del sur permitiendo el paso de los</p>	<p>Construcción (arrecifes artificiales, rehabilitación e la playa y andadores piloteados) Operación y mantenimiento</p>	<p>anidación y de ser necesario establecer medidas. Esto será registrado en una bitácora ambiental. Esto será cumplido al 100%.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Número de nidos por ha.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Arribo de las especies de tortugas a la zona con posible incremento paulatino de arribo de tortugas y número de nidos.</p>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>organismos. Además de esto, la alimentación de la playa podría tener un efecto en estos animales, modificando su hábitat.</p> <p>Actualmente el Hotel cuenta con un <b>“Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo”</b> (Anexo V.3) cuyas acciones fueron reconocidas en el 2015 por el Comité Estatal de Tortugas Marinas de Quintana Roo y el Parque Nacional de Arrecifes de Puerto Morelos–CONANP (Anexo V.2). Este Programa cuenta con un “Reglamento para la Protección de La Tortuga. Las</p>		







## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>acciones contenidas en el programa y su reglamento serán cumplidas en la ejecución de este proyecto para evitar afectaciones a estos quelonios. Cabe mencionar que el hotel se suma cada año a las actividades del <b>Programa de Protección de Playas y Anidación de tortugas Marinas del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.</b></p> <p>No obstante, en este proyecto se implementarán las siguientes acciones: Las obras no serán llevadas a cabo durante la época de anidación y en caso de que por razones mayores deba realizarse, las actividades serán</p>		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>realizadas sólo en horario matutino (8.00 a 16:00 horas) y se prohibirán las actividades recreativas marinas en el período de anidación de tortugas desde el ocaso hasta el amanecer.</p> <p>La maquinaria, equipo, material o residuos, serán retirados de manera que no haya obstáculos que limiten el desplazamiento de las hembras durante la anidación o el paso de las crías hacia el mar.</p> <p>En el programa con el que cuenta el hotel, se lleva un registro de la cantidad de nidos, huevos y crías que son liberadas. Estos datos seguirán siendo registrados, además de la referencia</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>geográfica con el fin de observar la tendencia que se presente en la anidación de tortugas a partir de la instalación de las estructuras y del relleno de las playas, en comparación con los registros antes de las obras. Se, integrarán además acciones de descompactación de la arena y eliminación de bermas en caso de presentarse antes de cada temporada.</p> <p>Se llevará a cabo un monitoreo de compactación y aflojamiento manual de la arena de ser necesario y se observará el gradiente de la playa lo que ayudará a reducir o eliminar la</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	compactación de la arena y formación de escarpes en la época previa a la anidación y después del término del proyecto, lo cual será realizado hasta tres años después del relleno de playa. De acuerdo con agencias estatales y federales el aflojamiento de sedimento se debe realizar si el penetrómetro demuestra una compactación en exceso de 500 libras por pulgada cuadrada en dos estaciones de muestreo o profundidades adyacentes. Adicionalmente se deben observar y nivelar los escarpes mayores a 18 pulgadas (50 cm) en altura o 100 pies		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	(31 m) antes de la época de anidación (DRAFT EIS 2011). Además, con el fin de contribuir a la protección de las tortugas marinas, se llevará a cabo la recolección del sargazo en el frente de playa donde se ubicarán los arrecifes artificiales en especial durante la época de arribo de las tortugas marinas para mantener en buenas condiciones el área para la anidación y paso de los quelonios		
<b>Impacto BMro10.</b> Afectación al libre paso de las crías de tortuga marina debido a la	Si bien se trata de una zona en donde la anidación es escasa en la actualidad. Se espera que con las obras que se realizarán, se recupere la playa e incrementa el arribo. Ante esto	Operación y mantenimiento	Considerando que el programa de conservación se ha realizado ya por mucho tiempo, éste seguirá siendo supervisado por el personal del Hotel como hasta ahora. Este



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
presencia de las estructuras impidiendo su llegada a mar abierto e incrementando su probabilidad de muerte por depredación	se llevarán a cabo las siguientes medidas.  Dado que los arrecifes artificiales pueden incrementar el tiempo de permanencia de las crías en aguas someras y con ello la probabilidad de depredación, en caso de que los nidos se ubiquen en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, éstos serán reubicados en el área protegida y de mayor espacio libre para que las crías alcancen el mar abierto. Esto será registrado e integrado al <b>Programa de Manejo de Tortuga El</b>		personal hará las revisiones pertinentes con el fin de observar si existen cambios en la época de anidación y de ser necesario establecer medidas. Esto será registrado en una bitácora ambiental. Esto será cumplido al 100%.  <b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de crías en la zona de los arrecifes artificiales.  <b>Indicador de eficacia:</b> Ausencia de crías en la zona de los arrecifes artificiales.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p><b>Cid de Cancún, Puerto Morelos Quintana Roo</b> (Anexo V.3).</p> <p>Además, con el fin de contribuir a la protección de las tortugas marinas, se llevará a cabo la recolección del sargazo en la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales en especial durante la época de arribo de las tortugas marinas para mantener en buenas condiciones el área para la anidación y paso de los quelonios.</p>		
<p><b>Impacto BMro11.</b> Afectación a la movilidad de las especies que</p>	<p>El efecto de las estructuras aun cuando será un impacto permanente, éste será parcial y aminorado por la conformación de los arrecifes artificiales. Las estructuras que serán instaladas, si bien representa una barrera, el efecto sólo será parcial ya que contarán con una separación de 140 m entre las estructuras del sur y de 620 m entre éstas y la estructura del norte, permitiendo</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
habitan la zona debido a la instalación de las estructuras impidiendo el libre paso en el área ( <i>L. gigas</i> y <i>L. costatus</i> ).	el paso de los organismos. Así mismo, el área que será ocupada representa el 0.15% del área total de SAR lo que implica un área pequeña de afectación, por lo que es un impacto que será atenuado y no requiere la implementación de alguna medida.		
<b>Impactos BMro5, BMro8.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la presencia de personal y visitantes.	Para evitar cualquier afectación a la flora y fauna del sitio se llevarán a cabo las siguientes acciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se prohibirá la captura, extracción o comercialización de especies de flora y fauna silvestre</li> <li>• Se verificará que antes de ingresar a la zona la herramienta y el equipo estén limpios para evitar la</li> </ul>	Durante todas las etapas de ejecución del proyecto.	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que se cumplan las medidas señaladas, lo cual será registrado en una bitácora.  <b>Indicador de eficiencia y eficacia:</b> Ausencia de biota dañada.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>introducción de cualquier especie exótica al sitio. Se hará uso del equipo de buceo que se encuentre en buenas condiciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se prohibirá alimentar a la fauna silvestre.</li> <li>• Se colocará un letrero en la playa señalando que está prohibido pararse sobre las estructuras, tocar o coleccionar cualquier individuo, alimentar a los peces, nadar entre las estructuras.</li> <li>• Aunado a lo anterior se colocarán señales luminosas (luminarias solares) en estas estructuras con el fin de que sean ubicadas por los</li> </ul>		Ausencia de incidentes con el personal y visitantes con la biota.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, instalación de andadores, translocación de arena, relleno de playa, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>turistas y las embarcaciones que circulen por el área.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Previo a las acciones contempladas se llevarán a cabo pláticas ambientales con el personal que estará en contacto directo con la biota marina para concientizarlos en el cuidado de las diversas especies de flora y fauna acuática que habitan en el proyecto.</li> </ul>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 4.** Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino. Factor ambiental: DINÁMICA COSTERA.

Línea de estrategia: Impactos en la Dinámica Costera.			
Etapa del proyecto: Operación de arrecifes artificiales andadores piloteado y rehabilitación de la playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<b>Impactos DCro1, DCman1.</b> Modificación del transporte litoral	Las estructuras que se instalarán para ayudar a conservar la playa, representan barreras artificiales que ocasionan cambios en la dinámica costera. Uno de los impactos asociados a estas estructuras es la modificación del transporte litoral lo que implica un cambio en el aporte de sedimentos a la playa y con ello la morfología del perfil de playa pues el balance de aporte y transporte de sedimentos se altera. En este sentido de acuerdo con el estudio de dinámica costera (Anexo II.1), el efecto que causará la instalación de los cuatro arrecifes	Etapa de operación de los arrecifes artificiales, rehabilitación de playa y andadores piloteados.	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar que el Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero y supervisión de las estructuras sea llevado a cabo y se generen reportes.
<b>DCro2, DCman2.</b> Alteración del perfil de playa			Esta medida será cumplida al 100%



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en la Dinámica Costera.			
Etapa del proyecto: Operación de arrecifes artificiales andadores piloteado y rehabilitación de la playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>artificiales en el frente de playa donde se ubicarán los mismos, será benéfico para la conservación de la playa pues ayudará a evitar la pérdida de sedimento y con ello incrementará el ancho de la misma en el sitio, ayudando con ello a la recuperación de la zona.</p> <p>De acuerdo con este estudio, los arrecifes artificiales servirán para disminuir la fuerza del oleaje en la zona en la que fueron dispuestos sin ocasionar efectos adversos fuera del sitio en el SAR. Sin embargo, para verificar que estas estructuras estén cumpliendo con la función por la que</p>		<p>Recuperación del ancho de playa y mantenimiento de éste</p> <p>Ausencia de afectaciones en predios dentro del SAR.</p>







## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en la Dinámica Costera.			
Etapa del proyecto: Operación de arrecifes artificiales andadores piloteado y rehabilitación de la playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>fueron instalados y el comportamiento de la playa después de la rehabilitación y la instalación de los andadores piloteados y el relleno de playa se llevará a cabo un Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero. Una vez autorizado el proyecto, se entregará a la autoridad un Plan de modificación o desmantelamiento de los AA en caso de que no se cumplan los objetivos por los cuales fueron instalados o que genere efectos negativos en el área inmediata o aledaña.</p> <p>En las labores de monitoreo los buzos sólo registrarán la situación de las</p>		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Línea de estrategia: Impactos en la Dinámica Costera.			
Etapa del proyecto: Operación de arrecifes artificiales andadores piloteado y rehabilitación de la playa.			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>estructuras, no tocando o recolectando ningún organismo.</p> <p>En caso de presentarse un evento natural que pudiera mover las estructuras, si éstas se salen del área señalada, se reacomodarán.</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 5.** Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino. Factor ambiental: PAISAJE.

<b>Línea de estrategia: Impactos en Paisaje</b>			
<b>Etapas del proyecto: Instalación de los arrecifes artificiales, retiro de bolsacretos y operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
<p><b>Pro1, Pman.</b> Alteración de la incidencia visual en el paisaje de la zona debido a la presencia de estructuras artificiales.</p>	<p>Desde la perspectiva ambiental, la calidad paisajística puede ser calificada como de valor medio alto, ya que si bien se ha perdido cierta naturalidad, la conjunción de los componentes ambiental y arquitectónico que inciden en la zona, crean un espacio que se reconoce como un punto focal más en el litoral, por lo que, dada la vulnerabilidad de la zona, será indispensable que las obras que se realicen conjuguen e integren elementos y estructuras que garanticen el mantenimiento de la calidad que ahí se percibe.</p> <p>Es por esto que aún y cuando la instalación de las estructuras, el relleno de playa y la instalación de andadores se ocasionará un impacto visual permanente, éste será únicamente en periodos de bajamar que es cuando podrán ser visibles en su totalidad, pues en pleamar sólo serán visibles los señalamientos que serán colocados a los extremos. Cabe señalar que esta zona como se ha mostrado a lo largo de los capítulos ya ha sido impactada por la construcción de hoteles en donde se realizan actividades acuáticas, además de la presencia de la Marina y el Muelle Fiscal.</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 6.** Medidas que serán implementadas para atender los impactos acumulativos, sinérgicos o residuales.

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<b>Modificación de la dinámica costera durante la operación de las estructuras de protección costera (AA)</b>			
<b>Alteración de las olas incidentes (altura y energía) (Impacto residual).</b>	Las estructuras de protección costera (AA) que se instalarán para disipar la energía del oleaje y con ello la erosión de la playa, representan barreras artificiales que ocasionan cambios en la dinámica costera. En este sentido de acuerdo con el estudio de dinámica costera (Anexo II.1), el efecto que causará la instalación de los cuatro arrecifes artificiales en el frente de playa donde se ubicarán los mismos, será benéfico para la conservación de la playa	Durante toda la etapa de operación de las estructuras.	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar que el Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero sea llevado a cabo y se generen reportes.  Esta medida será cumplida al 100%
<b>Modificación de la corriente local y transporte de sedimento (Impacto residual y acumulativo)</b>			



**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

<b>Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
<b>Modificación de la línea de costa (Impacto residual).</b>	<p>pues con ello se evitará la pérdida de sedimento por erosión con lo que se incrementará el ancho de la playa en el sitio, recuperando así la playa que ha sido perdida.</p> <p>De acuerdo con este estudio, los arrecifes artificiales servirán para disminuir la fuerza del oleaje en la zona en la que fueron dispuestos sin ocasionar efectos adversos en zonas aledañas dentro o fuera del SAR. Sin embargo, para verificar que estas estructuras estén cumpliendo con la función por la que fueron instalados y el comportamiento de la playa después de la</p>		<p><b>Indicador de eficacia y eficiencia.</b></p> <p>Recuperación de la playa.</p> <p>Ausencia de afectaciones en predios dentro del SAR.</p>



**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>rehabilitación y la sustitución de los espigones por andadores piloteados y el relleno de playa se llevará a cabo un <b>Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero.</b></p> <p>En las labores de monitoreo los buzos sólo registrarán la situación de las estructuras, no tocando o recolectando ningún organismo.</p> <p>En caso de presentarse un evento extraordinario que pudiera mover las estructuras, si éstas se salen del área señalada, se reacomodarán.</p>		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
Alteración de la movilidad de las especies que habitan la zona (residual)	<p>Con la instalación de los nuevos elementos que serán colocados en la zona, se ocuparán áreas libres pudiendo ser barreras artificiales para algunas especies. Sin embargo, el área que será ocupada no será continua pues estas estructuras contarán con un espaciamiento entre ellas que permitirán el paso de los individuos. Por lo antes expuesto, si bien serán elementos artificiales, el impacto que ocasionarán en la zona será de muy baja magnitud para la biota que habita el sitio y aún menor para la flora y fauna que se ubica en la celda litoral.</p> <p>Respecto a <i>L. gigas</i>, el efecto será menor ya que son organismos que pueden desplazarse grandes distancias pudiendo pasar por estos espacios. Aunado a que no se afectarán a los pastizales que se encuentran en el sitio y que son zonas de posible ubicación de individuos de estas especies. Por otro lado, como se señaló en el capítulo V de este documento, dado que estos gasterópodos presentan una fase larvaria y que de ella depende en gran medida su dispersión y establecimiento de juveniles, con la ejecución de este proyecto no se afectarán los</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	patrones de circulación de los que dependen para su dispersión ni las áreas de alta densidad larvaria.		
Alteración del libre acceso de tortugas marinas al área de anidación y regreso al mar. (Impacto residual, acumulativo y sinérgico)	De acuerdo a estudios realizados en el área del proyecto se registró la presencia de especies listadas en la NOM- 059-SEMARNAT-2010. En la zona se tienen registros de anidación de tres especies de tortugas marinas. <i>Caretta caretta</i> , <i>Eretmochelys imbricata</i> y <i>Chelonia mydas</i> . En el análisis realizado en el capítulo V de este documento, se mostró que la anidación de las tortugas a esta playa actualmente es muy escasa, además de que esta playa no forma parte de las que	Construcción (arrecifes artificiales, rehabilitación e la playa y andadores piloteados) y Operación y mantenimiento	Considerando que el programa de conservación se ha realizado ya por mucho tiempo, éste seguirá siendo supervisado por el personal del Hotel como hasta ahora. Este personal hará las revisiones pertinentes con el fin de observar si existen cambios en la época de anidación y de ser necesario establecer medidas. Esto será registrado
Alteración del libre paso de las crías de tortuga marina para		Construcción (arrecifes artificiales,	



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
nadar a mar abierto (Impacto residual, acumulativo y sinérgico)	son consideradas de importancia para estas especies pues la densidad de nidos es muy baja.	rehabilitación e la playa y andadores piloteados) y operación y mantenimiento.	en una bitácora ambiental. Esto será cumplido al 100%.  <b>Indicador de eficiencia:</b> Número de nidos por ha.
Modificación de la zona de anidación de las tortugas marinas (Impacto residual, acumulativo).	El efecto de las estructuras aun cuando será un impacto permanente, éste será parcial ya que, si bien representan una barrera, el efecto sólo será parcial ya que contarán con una separación de 140 entre éstas y las del sur permitiendo el paso de los organismos, Además de esto, la alimentación de la playa podría tener efecto en estos animales, modificando su hábitat.		<b>Indicador de eficacia:</b> Arribo de las especies de tortugas a la zona con posible incremento paulatino de arribo de tortugas y número de nidos.



**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	No obstante, actualmente el Hotel cuenta con un <b>Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo</b> cuyas acciones fueron reconocidas en el 2015 por el Comité Estatal de Tortugas Marinas de Quintana Roo y el Parque Nacional de Arrecifes de Puerto Morelos – CONANP (Anexo V.3). Este Programa cuenta con un “Reglamento para la Protección de La Tortuga. Las acciones contenidas en el programa y su reglamento serán cumplidas en la ejecución de este proyecto para evitar afectaciones a estos quelonios. Cabe mencionar que el hotel se		



**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>suma cada año a las actividades del <b>Programa de Protección de Playas y Anidación de tortugas Marinas del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.</b></p> <p>Además de esto, se implementarán las siguientes acciones:</p> <p>Las obras no serán llevadas a cabo durante la época de anidación y en caso de que por razones mayores deba realizarse, las actividades serán realizadas sólo en horario matutino (8:00 a 16:00 hrs o de 7:00 a 15:00 hrs) y se prohibirán las actividades recreativas marinas en el período de</p>		



**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

<b>Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
	<p>anidación de tortugas desde el ocaso hasta el amanecer.</p> <p>La maquinaria y equipo, serán retirados de manera que no haya obstáculos que limiten el desplazamiento de las hembras de tortugas durante la anidación o la llegada de las crías al mar.</p> <p>En el programa con el que cuenta el hotel, se lleva un registro de la cantidad de nidos, huevos y crías que son liberadas. Estos datos seguirán siendo registrados con el fin de observar la tendencia que se presente en la anidación de tortugas a partir de la</p>		





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>instalación de las estructuras y del relleno de las playas, en comparación con los registros antes de las obras, lo cual será integrado al programa, incluyendo además acciones de descompactación de la arena y eliminación de bermas en caso de presentarse antes de cada temporada.</p> <p>Se llevará a cabo un monitoreo de compactación y aflojamiento manual de la arena de ser necesario y se observará el gradiente de la playa lo que ayudará a reducir o eliminar la compactación de la arena y formación de escarpes en la época previa a la anidación y después del término</p>		



**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

<b>Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
	del proyecto, lo cual será realizado hasta tres años después del relleno de playa. De acuerdo con agencias estatales y federales el aflojamiento de sedimento se debe realizar si el penetrómetro demuestra una compactación en exceso de 500 libras por pulgada cuadrada en dos estaciones de muestreo o profundidades adyacentes. Adicionalmente se deben observar y nivelar los escarpes mayores a 18 pulgadas (50 cm) en altura o 100 pies (31 m) de longitud antes de la época de anidación (DRAFT EIS.2011).		
<b>Modificación del lecho marino por la</b>	No existe una medida de mitigación para estos impactos que serán permanentes. No obstante, si bien es un impacto acumulativo que incrementará en 1.21 ha el área ocupada por los		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<b>instalación de los AA y el incremento del ancho de la playa.</b>	<p>elementos que componen al proyecto, es relevante mencionar que serán impactos locales cuyos efectos se restringirán únicamente al área de afectación directa. Por otro lado, cabe señalar que al sustituir los espigones que actualmente se encuentran en el área por andadores piloteados, se recuperará en gran parte la topografía que el sitio presentaba antes de su instalación.</p> <p>Es de hacer notar que los arrecifes artificiales y la traslocación de arena se proponen como una medida para recuperar la playa debido al proceso erosivo que sufre y que se ha visto incrementada por la presencia de la marina, los espigones y el muelle pues funcionan como barreras para el transporte de sedimento. De esta forma, el proyecto se vislumbra como una medida integral para coadyuvar a la regeneración de la playa, esperando, asimismo, que esto se vea reflejado en la biota del sitio, ya que las estructuras servirán como sustrato y refugio para muchas especies.</p>		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
Modificación del hábitat por la instalación de estructuras artificiales en la zona en el área (Impacto acumulativo).	<p>Cabe mencionar que, si bien este impacto será directo, e inevitable, el área que será ocupada por las estructuras representa el 0.15 % del SAR y que si bien los procesos en el mar son complejos, el efecto sólo será local. Además, es relevante señalar que estas estructuras serán construidas de roca caliza de la región (sascab) y podrán fungir como zonas de reclutamiento de especies.</p> <p>En adición a lo anterior, el reemplazo de los espigones por andadores piloteados dejará área libre debajo de los mismos para el establecimiento de comunidades y permitirá además el libre paso de las corrientes.</p>		
Modificación del paisaje (Impacto acumulativo)	Es importante mencionar que la colocación de estas estructuras servirá para ayudar a minimizar la erosión que sufre actualmente la playa, por lo que, si bien se afectará el paisaje al poner elementos artificiales en el sitio, éstos ayudarán a conservar la playa y disminuir el efecto que actualmente se presenta en el paisaje por el retroceso de la línea de costa.		





**PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”**

<b>Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
	Aunado a lo anterior, el reemplazo de los espigones por andadores piloteados dará una mejor vista a la zona además de permitir el libre paso del agua en el sitio. Asimismo, la alimentación de la playa ayudará a recuperar el ancho de costa y con ello la incidencia visual será mejorada.		



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

A continuación, se describirán los objetivos que se persiguen con cada uno de los subprogramas propuestos.

### VI.2.1.1 Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina (SRRFM)

El área de estudio para el presente trabajo comprende la parte marina del Sistema Ambiental Regional para el proyecto con una celda litoral de 267.37 ha.

En el área de estudio que comprende el SAR para el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” se reconocieron siete tipos de ambientes, de acuerdo con sus características de tipo de sustrato, profundidad, topografía del lugar, así como de la biota marina dominante como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 7.** Superficie por tipo de ambiente en el SAR para el proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, expresado en número de hectáreas (ha) y en porcentaje (%).

AMBIENTE	Abreviación	Ha	%
Arenal somero	As	13.23	4.95
Laja con algas	L/a	57.26	21.42
Laja con algas y gorgonáceos	L/a+g	107.63	40.25
Laja con sedimentos	L/s	6.99	2.61
Laja con sedimentos y algas	L/s+a	37.93	14.19
Pastizal mixto	Pmix	42.67	15.96
Rocas con algas	R/a	1.66	0.62
TOTAL			267.37

El área programada para instalar las estructuras de protección costera se encuentra sobre la planicie de laja somera, y abarca tres tipos de ambientes: Laja con sedimento y de laja con sedimento y algas y arenal somero. En estos ambientes se registraron las especies mostradas en la siguiente tabla.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**Tabla 8.** Biota marina registrada en el área de afectación directa por la instalación de los arrecifes artificiales.

CORALES ESCLERACTINIOS		
Familia	Género	Especie
Astrocoeniinae	<i>Stephanocoenia</i>	<i>michelinii</i>
Faviidae	<i>Pseudodiploria</i>	<i>strigosa</i>
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>
Mussidae	<i>Manicina</i>	<i>areolata</i>
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>
	<i>Porites</i>	<i>porites</i>
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>
		<i>sideraea</i>
GORGONACEOS		
Familia	Género	Especie
Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i>	<i>mariae</i>
		<i>flabellum</i>
	<i>Pseudopterogorgia</i>	<i>americana</i>
	<i>Pterogorgia</i>	<i>anceps</i>
		<i>citrina</i>
		<i>guadalupensis</i>
Plexauridae	<i>Eunicea</i>	<i>calyculata</i>
		<i>laxispica</i>
		<i>mammosa</i>
		<i>tourneforti</i>
	<i>Muricea</i>	<i>muricata</i>
	<i>Muriceopsis</i>	<i>flavida</i>
	<i>Plexaura</i>	<i>flexuosa</i>
<i>homomalla</i>		
<i>Plexaurella</i>	<i>nutans</i>	
<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>	
PECES ARRECIFALES		
Familia	Género	Especie
Acanthuridae	<i>Acantarus</i>	<i>chirurgus</i>
	<i>Haemulon</i>	<i>plumierii</i>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Labridae	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i> <i>poeyi</i>
Lutjanidae	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>
Pomacentridae	<i>Stegastes</i>	<i>adustus</i>
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>
	<i>Scarus</i>	<i>iseri</i>
	<i>Sparisoma</i>	<i>radians</i> <i>viride</i>
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>
<b>VEGETACIÓN MARINA</b>		
<b>División</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Chlorophyta	<i>Avrainvillea</i>	<i>asarifolia</i>
		<i>fibrosa</i>
	<i>Batophora</i>	<i>occidentalis</i>
	<i>Caulerpa</i>	<i>cupressoides</i>
		<i>mexicana</i>
	<i>Halimeda</i>	<i>discoidea</i>
		<i>incrassata</i>
		<i>lacrimosa</i>
		<i>opuntia</i>
		<i>scabra</i>
		<i>tuna</i>
	<i>Penicillus</i>	<i>dumetosus</i>
	<i>Rhipilia</i>	<i>tomentosa</i>
	<i>Rhipocephalus</i>	<i>phoenix</i>
<i>Udotea</i>	<i>cyathiformis</i>	
	<i>fibrosa</i>	
	<i>occidentalis</i>	
<i>Valonia</i>	<i>macrophysa</i>	
Phaeophyta	<i>Dictyosphaeria</i>	<i>cavernosa</i>
	<i>Dictyota</i>	<i>crispata</i>
	<i>Sargassum</i>	<i>natans</i>
Rhodophyta	<i>Acanthophora</i>	<i>spicifera</i>



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

	<i>Amphiroa</i>	<i>fragilissima</i>
		<i>rigida</i>
	<i>Asparagopsis</i>	<i>taxiformis</i>
	<i>Bryothamnion</i>	<i>triquetrum</i>
	<i>Ceramium</i>	<i>nitens</i>
	<i>Dasya</i>	<i>ocellata</i>
		<i>harveyi</i>
Magnoliophyta	<i>Halymenia</i>	<i>sp.</i>
	<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>
	<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>
<b>OTROS INVERTEBRADOS</b>		
<b>Grupo</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Esponja	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>
	<i>Aplysina</i>	<i>fistularis</i>
	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>
	<i>Ircinia</i>	<i>felix</i>
		<i>strobilina</i>
<i>Tedania</i>	<i>ignis</i>	
Equinodermo	<i>Holothuria</i>	<i>mexicana</i>
	<i>Tripneustes</i>	<i>ventricosus</i>
Molusco	<i>Cassis</i>	<i>Sp.</i>
	<i>Murex</i>	<i>sp</i>
	<i>Pleuroploca</i>	<i>gigantea</i>
Zoántido	<i>Palythoa</i>	<i>caribaeorum</i>

Debido a la construcción de los arrecifes artificiales, la biota que habita en estos ambientes será impactada de manera directa por lo que para minimizar el impacto en la fauna marina se propone la implementación de este **Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina**.

Los objetivos que se persiguen con la implementación de este subprograma son los siguientes.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

### Objetivos

#### General

Establecer los criterios, metodologías y procedimientos para la protección, rescate, manejo y reubicación de los individuos de las especies de la fauna marina presentes en el área de afectación directa del proyecto; con especial énfasis en las especies que posean mayor importancia ecológica para la zona.

#### Particulares

Los objetivos particulares que contempla la implementación de este Subprograma son los siguientes:

- Definir los criterios de elegibilidad de especies de fauna marina a proteger.
- Definir y seleccionar las estrategias y métodos para realizar las acciones de protección, rescate, manejo y reubicación de los individuos de las especies de fauna marina acordes a cada especie.
- Identificar los sitios para reubicar a la fauna rescatada.
- Establecer las medidas de seguimiento para asegurar la mayor sobrevivencia de los individuos (acciones de Monitoreo Ambiental de Fauna Marina).
- Establecer los mejores indicadores de éxito para las medidas implementadas.
- Observar el proceso de establecimiento de las especies de manera natural particularmente en los arrecifes artificiales, el área entre la playa y los arrecifes artificiales y en los sitios que estarán libres por el retiro de los espigones.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

- Proponer las medidas de mitigación o compensación, adicionales derivadas de los posibles impactos no previstos o de ser el caso de los originados por la aplicación de las acciones del presente programa.

### Alcances

El presente Subprograma tiene como propósito final, proteger y conservar a los individuos de las especies de fauna marina que sean más susceptibles y que se encuentren en el área de afectación directa del proyecto, con el fin de conservar sus poblaciones y con ello los procesos ecológicos marinos.

Las técnicas de rescate, manejo y reubicación de los organismos marinos, así como los indicadores de seguimiento ayudarán a garantizar que la sobrevivencia de los individuos sea alta y se puedan reintegrar a su nuevo hábitat natural.

Las principales acciones para alcanzar los objetivos de este Subprograma son: el rescate, la reubicación y el monitoreo ambiental de la fauna marina, además de acciones para la restauración de la zona a través de trasplantes de colonias de coral.

### VI.2.1.2 Subprograma de Monitoreo de Perfil Costero

#### Introducción

El sistema costero en las playas de la Riviera Maya, ha sido modificado por actores naturales y humanos y en la actualidad no es capaz de absorber nuevos embates ni de recuperarse a sí mismo (Guido Aldana et al., 2009). En el caso particular de la Riviera Maya, se ha provocado que la costa cambie, de manera gradual, sus estados de equilibrio natural; es por ello que los procesos y fenómenos físicos de las playas responden de manera diferente a lo deseado, lo cual implica una serie de modificaciones que pueden llegar a considerarse como adversas tanto en términos ambientales como sociales y económicos (Ruiz-Martínez et al., 2013), pues ha estado sujeta a procesos erosivos que han causado el retroceso de la línea de costa.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

En este sentido, con la implementación del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, se pretende favorecer la conservación de la playa disminuyendo los procesos erosivos que se presentan en el área. Ante esto, se hace indispensable conocer el estado de la playa antes, y después de la ejecución de las obras a través de la implementación de un Programa de Monitoreo de Perfil Costero (PMPC) y de funcionamiento de las estructuras (arrecifes artificiales), la rehabilitación de la playa y la construcción de los andadores piloteados de la zona propuesta, a través del cual podrá conocerse su comportamiento a través del tiempo con la ejecución del proyecto.

El perfil de la playa o sección transversal se refiere a una medición exacta de la pendiente y el ancho de la playa que, cuando se repite a lo largo del tiempo, muestra cómo esta sufre erosión o acreción. Es así que los perfiles, proporcionan una comprensión clara de la dinámica de las playas y es una herramienta para su manejo y proporciona elementos para observar el cambio en el nivel del mar y de las modificaciones a la línea de costa, que pudieran estar asociados al cambio climático a otros factores. El monitoreo de la playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales tiene como principal objetivo detectar cambios no deseados o esperados por efecto de alguna actuación o intervención en las inmediaciones de la frontera tierra-mar. Sin embargo, este monitoreo tiene la capacidad de aportar información adicional referente a los cambios en la altura y ancho de la playa, la evolución de la línea de costa, el volumen de material disponible en la playa y su dinámica general.

Ante lo antes expuesto, el SMPC del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, se presenta como una herramienta para identificar cualquier cambio a lo largo del perfil de playa derivado de la instalación de las estructuras de protección, la rehabilitación de la playa y la construcción de los andadores piloteados y considera la medición de las elevaciones de los perfiles de playa asociadas a su referencia geográfica. El perfil de playa se entenderá como el corte trasversal de la playa que va desde la primera edificación que colinde con la playa, hasta el primer metro y medio de profundidad en el mar.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

### Objetivos

#### General

Detectar los posibles cambios en la playa frente a la cual se ubicarán los arrecifes artificiales y en zonas aledañas dentro del SAR, por la instalación de las estructuras de protección (arrecifes artificiales), la rehabilitación de la playa y la instalación de los andadores piloteados con el fin de observar si estas estructuras están cumpliendo con la función por la que fueron instaladas.

#### Particulares.

- Elaborar perfiles de playa en el área frente a la cual se ubicarán los arrecifes artificiales y en zonas aledañas dentro del SAR.
- Comparar los perfiles obtenidos en las diferentes temporadas de muestreo.
- Evaluar el comportamiento estacional de la playa (Erosión-Acreción).
- Identificar los posibles cambios producidos en el perfil de playa posterior por la instalación de los arrecifes artificiales, rehabilitación de playa y construcción de andadores, y después del paso de huracanes.
- Anticipar cambios en el nivel del mar.
- Generar información útil para el manejo de la playa.

#### Alcances

El monitoreo de la zona de playa, permitirá identificar el comportamiento de la misma, y evaluar la eficacia y eficiencia de la implementación del proyecto en especial la función de los arrecifes artificiales, como medida de mitigación para frenar el proceso erosivo que se presenta, y de ser el caso, identificar a tiempo cualquier alteración en la playa que no haya sido contemplada en los modelos anteriormente realizados con la finalidad de establecer acciones correctivas.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

### VI.2.1.3 Subprograma de Contingencia ante algún derrame u otras afectaciones a los ecosistemas.

#### Introducción

Cualquier proyecto que involucre el uso de maquinaria o vehículos es susceptible de encontrarse frente a una situación de emergencia que puede originar efectos adversos al ambiente por derrame de combustible. Los derrames de hidrocarburos pueden ocasionar daños ambientales y afectar a la población por contaminación de sistemas de abastecimiento de agua, de recursos naturales que son fuente de subsistencia, deterioro de zonas productivas y cultivos e incluso causar daños a las personas por incendios. Las consecuencias de los derrames se convierten en desastres cuando las alteraciones de las condiciones de las personas, de los bienes y servicios o del medio ambiente son graves.

Es posible prevenir los desastres por derrame de hidrocarburos de varias maneras. La más efectiva es evitar que ocurran, sin embargo, a pesar de las medidas de seguridad que se establezcan éstos pueden presentarse por lo que es necesario reaccionar y actuar de manera oportuna y eficaz. De esta forma el tiempo y la capacidad de respuesta son piezas claves para enfrentar, controlar o combatir cualquier situación de emergencia que se presente durante la ejecución de cualquier proyecto en todas sus etapas de desarrollo.

El proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” contempla el uso de maquinaria y embarcaciones para diversos usos. En el caso de las embarcaciones, éstas serán necesarias en el rescate y reubicación de biota marina, para instalar la bomba de succión con la que se trasladará la arena necesaria para la alimentación de la playa y en la etapa de operación y mantenimiento para llevar a cabo el monitoreo del sitio. De esta forma, si bien se implementarán acciones para evitar al máximo el riesgo de un derrame, en caso de presentarse algún incidente o algún efecto no identificado en esta MIA-R, se implementará un **Subprograma de Contingencias ante derrames u otras afectaciones a los ecosistemas no previstas**.

Este subprograma se presenta así, como un instrumento de orientación para la ejecución de acciones preventivas, de mitigación y de control necesarias ante



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

la ocurrencia de una emergencia, con la finalidad de disminuir al máximo el tiempo de respuesta y disminuir al máximo la afectación al ambiente.

Los objetivos que se persiguen con este subprograma son los siguientes.

### Objetivos

#### General

Implementar las acciones, procedimientos y responsabilidades ante un evento de derrame de hidrocarburos o cualquier afectación a los componentes ambientales utilizando en forma adecuada todos los recursos materiales disponibles y el recurso humano debidamente capacitado y entrenado con el fin de dar una respuesta inmediata, eficiente y eficaz, de las situaciones que se presenten, controlando y minimizando los efectos negativos producidos al ambiente.

#### Particulares.

- Contar con los mecanismos y las directrices necesarias para brindar una eficiente respuesta a situaciones de emergencia durante el desarrollo de las actividades diarias que se realicen en las diferentes etapas del proyecto.
- Reducir las causas de emergencia durante cada una de las etapas que comprende el proyecto.
- Evitar reacciones en cadena que puedan ocasionar mayores incidentes.
- Mitigar las consecuencias de cualquier evento o incidente.

#### Alcances

Este Subprograma de Contingencia cubre todos aquellos eventos que pueden generar emergencias con potencial daño al ambiente en todas las etapas de desarrollo del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección**



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

**contra la erosión y regeneración de playas”** para enfrentar cualquier evento de manera oportuna que pueda ocurrir en el área del proyecto y SAR.

### VI.2.1.4 Subprograma de Acciones Independientes (SAI)

El Subprograma de Acciones Independientes (SAI) se propone como la herramienta en la cual estarán contenidas todas aquellas acciones necesarias de prevención, mitigación, manejo y control apropiado de los impactos no contempladas en los subprogramas anteriores.

De esta manera este SAI se integra al conjunto de subprogramas cuyo objetivo principal es identificar e implementar acciones necesarias para prevenir, mitigar, manejar y realizar un control adecuado de los impactos que pudieran no estar contemplados en los subprogramas, o de los impactos no previstos que pudieran generarse en el futuro en cada una de las etapas dentro del área del proyecto.

Algunas acciones o medidas que se implementarán en el presente proyecto y no están contempladas dentro de los anteriores subprogramas, pero se integrarán al Programa correspondiente que se implementa en el hotel asociado al proyecto. A continuación, se listan algunas de ellas.

#### **Tortugas Marinas.**

- Las obras no serán llevadas a cabo durante la época de anidación y en caso de que por razones mayores deba realizarse, las actividades serán llevadas a cabo sólo en horario matutino (8. 00 a 16:00 hrs o de 7:00 a 17:00 hrs) y se prohibirán las actividades en el periodo de anidación de tortugas desde el ocaso hasta el amanecer.
- La maquinaria, equipo, material o residuos, serán retirados de manera que no haya obstáculos que limiten el desplazamiento de las hembras durante la anidación o el paso de las crías hacia el mar.
- En el programa con el que cuenta el hotel, se lleva un registro de la cantidad de nidos, huevos y crías que son liberadas. Estos datos, además de la referencia geográfica, seguirán siendo registrados con el fin de observar la



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

tendencia que se presente en la anidación de tortugas a partir de la instalación de las estructuras y del relleno de las playas, en comparación con los registros antes de las obras.

- Durante la época de anidación y eclosión, se realizarán recorridos periódicos por las estructuras de protección con el fin de verificar que no existan crías o hembras en la zona de influencia directa de los arrecifes artificiales con el fin de auxiliar a los quelonios en caso de observarse que no puedan continuar su recorrido ya sea hacia la playa o al mar.
- Se llevará a cabo un monitoreo de compactación y aflojamiento de la arena de ser necesario y se observará el gradiente de la playa lo que ayudará a reducir o eliminar la compactación de la arena y formación de escarpes en la época previa a la anidación y después del término del proyecto, lo cual será realizado hasta tres años después del relleno de playa. De acuerdo con agencias estatales y federales el aflojamiento de sedimento se debe realizar si el penetrómetro demuestra una compactación en exceso de 500 libras por pulgada cuadrada en dos estaciones de muestreo o profundidades adyacentes. Adicionalmente se deben observar y nivelar los escarpes mayores a 18 pulgadas (50 cm) en altura o 100 pies (31 m) antes de la época de anidación (DRAFT EIS.2011).
- Con el fin de contribuir a la protección de las tortugas marinas, se llevará a cabo la recolección del sargazo en el frente de playa donde se ubicarán los arrecifes artificiales en especial durante la época de arribo de las tortugas marinas para mantener en buenas condiciones el área para la anidación y paso de los quelonios.

### Residuos

- Se colocará una malla geotextil alrededor de las obras (arrecifes artificiales, translocación de arena, relleno de playa, retiro de espigones e instalación de andadores) de 0.5 mm de luz, que se prolongará hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos. Ésta, será fijada al fondo mediante alcayatas y muertos. Esta malla contará con boyas para que sea visible y funja además



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

como señalización para los turistas o visitantes. Además de lo anterior, se llevará a cabo el monitoreo de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables respecto a la turbidez.

- En el caso del relleno de playa, considerando que el vertido de arena en la playa se llevará a cabo una vez que los arrecifes artificiales estén colocados y que se hará mediante una manguera en un sitio localizado, se espera que la resuspensión de sedimento sea menor, sin embargo, en caso de observarse que la pluma de sedimento se disperse más allá de la zona de colocación de los AA, se detendrán las acciones y se colocará la malla geotextil.
- Se construirá una tarquina que tiene como objetivo recibir la arena, contenerla y minimizar la cantidad de sedimento que se pueda dispersar.
- Se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables respecto a la turbidez.
- Se supervisará periódicamente que las piezas que componen a los arrecifes artificiales se mantengan en su sitio especialmente después del paso de un huracán y de ser necesario serán reubicados.
- A bordo de la embarcación se tendrán contenedores para basura orgánica e inorgánica donde se depositarán los residuos generados por los trabajadores, para posteriormente ser depositados en los sitios específicos para ello dentro de las instalaciones del hotel asociado al proyecto.
- Se verificará que los trabajadores no arrojen ningún tipo de sustancia o residuo directamente al suelo o al mar.
- Se prohibirá el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos no biodegradables.
- Se prohibirá la quema de desechos sólidos y vegetación.





## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

---

- Los trabajadores podrán utilizar las instalaciones del hotel asociado al proyecto para el depósito de los residuos generados, así como los sanitarios, y los servicios del comedor para empleados.
- Se verificará que la grúa esté en perfectas condiciones, a fin de evitar cualquier derrame de combustible aceite o grasa en la zona marina. La empresa que sea contratada deberá demostrar que la maquinaria y embarcaciones están sujetas a mantenimiento constante.
- Los residuos que se lleguen a generar por el empleo de equipos para la colocación de las estructuras, serán responsabilidad de la empresa que prestará el servicio de fabricación y colocación de las estructuras.
- Las estructuras que formarán los arrecifes artificiales se trasladarán al sitio ya lavadas, para evitar la contaminación del agua por cualquier residuo y se verificará que las estructuras se encuentren limpias y libres de cualquier residuo antes de ingresar a la zona marina.
- El personal que se contrate, operadores y buzos contarán con experiencia en este tipo de labores para evitar accidentes y alguna afectación al personal y al medio.
- En caso de algún derrame accidental de hidrocarburos se detendrán las operaciones y se colocarán barreras absorbentes flotantes de hidrocarburos para contener y retirar el combustible.
- Se acordonará la zona de playa a fin de evitar que los turistas o visitantes se acerquen al área de maniobra en la colocación de las estructuras.

### VI.3 Conclusiones generales

Basándose en las características del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**” (Capítulo II), las características del Sistema Ambiental Regional (Capítulo IV), la opinión de expertos y el análisis de evaluación de impacto ambiental, el proyecto generará



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

una serie de impactos ambientales de naturaleza negativa entre compatibles y moderados.

No obstante, la implementación de este proyecto así mismo, traerá consigo efectos positivos para la zona, ya que, con la instalación de los arrecifes artificiales y la sustitución de éstos por andadores permeables además de la reincorporación de arena, se ayudará a la recuperación del ancho de la playa que se ha perdido por el proceso de erosión presente en el área. Este incremento será benéfico no sólo para los turistas que se recrean en la zona sino también para proveer mejores condiciones para la anidación de las tortugas marinas, pues estos quelonios prefieren playas anchas de pendientes suaves para el éxito de su anidación.

Si bien los resultados encontrados muestran la existencia de impactos moderados, éstos no causarán desequilibrios ecológicos que puedan poner en peligro la integridad ecológica del ambiente, pues se llevarán a cabo acciones para prevenir, mitigar o compensar los posibles impactos, tanto éstos como los compatibles con el fin de no incidir aún más en el deterioro del SAR y por el contrario ayudar en su mejora.

### VI.4 Referencias

- Guido-Aldana, P., A. Ramírez-Camperos, L. Godínez-Orta, S. Cruz-León, y A. Juárez-León. 2009. Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. Avances en Recursos Hidráulicos. 20, pp.41-56.
- IADC (International Association of Dredging Companies), 2007. Facts about Turbidez. <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/fck-uploaded/documents/PDF%20Facts%20About/translations/facts-about-turbidity-spanish.pdf>
- Ruiz-Martínez, G., R. Silva-Casarín y G. Posada-Vanegas. 2013. Comparación morfodinámica de la costa noroeste del estado de Quintana Roo, México. Tecnología y Ciencias del Agua, IV (julio-agosto).

# CAPÍTULO VII

PRONÓSTICOS AMBIENTALES REGIONALES Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS



## ÍNDICE

VII. PRONOSTICOS AMBIENTALES REGIONALES Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS ....	2
VII. 1. Descripción y análisis de las condiciones del área del proyecto.....	3
VII. 2. Descripción y análisis del escenario con proyecto sin aplicar medidas de prevención, mitigación y compensación.....	13
VII. 3. Descripción y análisis del escenario considerando las medidas de mitigación .....	15
VII. 4. Pronóstico ambiental.....	20
VII. 5. Evaluación de alternativas.....	20
VII. 6. Conclusiones.....	21
VII.7 Referencias .....	22

### VII. PRONOSTICOS AMBIENTALES REGIONALES Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS

El análisis de proyecciones, es un estudio para evaluar los posibles efectos, tanto positivos como negativos, en probables escenarios a determinados intervalos de tiempo, después de la modificación o alteración de un sitio o un área. Un diagnóstico e identificación de las interacciones entre los patrones espaciales y los distintos procesos ecológicos que pudieran alterar el paisaje, evitará o reducirá daños al ecosistema aun con la implementación de las medidas de mitigación. La comparación del estado actual del ecosistema previo al inicio, durante y después del proyecto, contemplando cada uno de los elementos que sufrieron cambios, dará una mayor certidumbre que permitirá desarrollar planes estratégicos para el aprovechamiento o disminución de dichas alteraciones.

Según Gómez-Orea (2007), elaborar un pronóstico consiste en: “... proyectar, a partir del conocimiento adquirido en el diagnóstico, la situación actual a una situación futura, teniendo en cuenta las tendencias de evolución de diferentes variables, así como innovaciones “saltos” que opcionalmente se podrían producir”.

Por lo anterior, es de suma importancia que la información adquirida en el diagnóstico actual del área del proyecto, que corresponde a la zona marina y playa frente a donde se ubicarán los arrecifes artificiales, se utilice para realizar la construcción de todos los posibles escenarios futuros. De acuerdo con lo que se plantea, el análisis de las proyecciones, considera tres escenarios:

**Escenario 1.** En este escenario se realizará una proyección de las condiciones que se generarán dentro del Sistema Ambiental Regional (SAR) a largo plazo sin la influencia de las obras y actividades contempladas en el proyecto. Esto es, manteniendo las condiciones actuales (línea base), considerando únicamente las tendencias naturales de los procesos ecosistémicos, así como las posibles afectaciones ocasionadas por los eventos naturales.

**Escenario 2.** Se referirá a la superficie del proyecto y sus afectaciones directas ocasionadas por las obras y actividades del mismo, sin considerar la implementación de acciones tendientes a la prevención, mitigación o compensación de los impactos ambientales generados por el proyecto.

**Escenario 3.** Este último escenario considerará las posibles alteraciones que se tendrían en el ecosistema por el desarrollo del proyecto, aun tomando en cuenta, la implementación de medidas de prevención, mitigación y compensación propuestas en la presente MIA-R para los impactos identificados en el capítulo V y VI, y determinar, si las medidas son efectivas.

El análisis de los escenarios, se desarrolló a partir de la información que se generó en esta MIA-R, más específicamente en el Capítulo IV, en las condiciones de deterioro o conservación de los recursos naturales a la fecha actual en el área del proyecto (Línea base). También se contemplaron los posibles impactos ambientales generados por el desarrollo del proyecto (Capítulo V) y las medidas preventivas, de compensación y de mitigación establecidas en el Capítulo VI.

### VII. 1. Descripción y análisis de las condiciones del área del proyecto

Con la finalidad de identificar el escenario, en donde se tomen en cuenta las características ambientales, tanto bióticas como abióticas, y su relación entre ellas dentro del área del proyecto “**Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas**”, es importante observar que la delimitación del **Sistema Ambiental Regional (SAR)** consideró aquellas superficies en las que el proyecto pudiera tener interacción con el medio ambiente y en donde los procesos ecosistémicos intervienen de manera directa e indirecta con el proyecto.

En este contexto, se llevó a cabo una **delimitación del SAR, bajo el criterio de celda litoral**, es decir, unidad básica en la que se divide el litoral, la cual se origina por la interacción entre el oleaje incidente y las estructuras naturales (e.g., puntas, cañones submarinos, bahías, estuarios, cabos o puntas, desembocaduras de ríos) o antrópicas (e.g., muelles, espigones). Las celdas litorales son de dos tipos, las que ocurren en: 1) costas irregulares y 2) costas abiertas (Anfuso 2004, Guido *et al.* 2009). Además, están sujetas a una jerarquía de escalas espaciales o temporales, agrupándolas en tres tipos: 1) Micro celda (de 0 a 1 km; de 0 a 1 año), con cambios oscilantes a baja escala; 2) Meso celda (de 1 a 10 km; de 1 a 10 años), con cambios periódicos a meso escala; y 3) Macro celda (de 10 a 100 km, de 10 a 100 años), con cambios lentos de gran escala ocasionados por fenómenos naturales (Silva *et al.* 2017).



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

Así, el SAR definido para el proyecto (267.37), representa una meso celda litoral (tiene una distancia lineal de 4.5 km de frente de playa, sobre una costa irregular), que va de una estructura natural (Punta Brava) a una antrópica (Muelle Fiscal), y en la parte marina profunda está delimitado por una distancia entre 500 y 850 m de la línea de costa, colindante con el polígono del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, a una profundidad aproximada de 10 metros.

Por lo tanto, para la definición del SAR del proyecto, se tomó en cuenta la línea de costa, las estructuras naturales (Punta Brava) y antrópicas (Muelle Fiscal) en los extremos de la línea de costa, así como una línea imaginaria sobre el mar colindante con el polígono del Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos. Estos elementos considerados para delimitar el SAR, hacen de esta celda litoral una unidad ambiental en la que los efectos que pueda producir el proyecto al área marina se puedan ver reflejados en el ambiente. A continuación, se realiza una **descripción biótica y abiótica del SAR sin proyecto.**

A través de muestreos en campo, en el **SAR se reconocieron siete tipos de ambientes**, de acuerdo con sus características de tipo de sustrato, profundidad, topografía del lugar, así como de la biota marina dominante. Dichos ambientes son: 1) laja con algas (57.26 ha: 21.42%), 2) rocas con algas (1.66 ha: 0.62%), 3) arenal somero (13.23 ha: 4.95%), 4) laja con sedimentos y algas (37.93 ha: 14.19%), 5) laja con algas y gorgonáceos (107.63 ha: 40.25%), 6) laja con sedimentos (6.99 ha: 2.61%) y 7) pastizal mixto (42.67 ha: 15.96%). Asimismo, en el SAR se registró la presencia de siete especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la modificación de su anexo normativo III (DOF., 14/11/2019): los corales blandos (gorgonáceos), *Plexaura homomalla* y *Plexaurella dichotoma*, los pastos marinos *S. filiforme* y *T. testudinum*; y tres especies de peces en protección especial: *Scarus iseri*, *Sparisoma radians* y *Sparisoma viridae* con abundancia variable. Es importante mencionar, que los **pastos marinos** registrados en el presente estudio, ya se encuentran **perturbados** y ocupan áreas reducidas **que forman pequeños parches**. De tal forma que los servicios ambientales que pueden ofrecer los pastos marinos también se encuentran actualmente afectados. Un hecho de consideración, es la **presencia masiva de alga sargazo** durante la época de lluvias, lo cual hizo nula la visibilidad en la zona contigua a la línea de costa, principalmente en la zona donde se ubican los espigones. Con respecto a reptiles marinos, a través de monitoreos en

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

la playa colindante al Sistema Ambiental Regional desde Punta Brava hasta Muelle Fiscal, **se registraron tres especies de tortugas marina** las cuales son: tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga caguama (*Caretta caretta*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*).

A pesar de la riqueza de especies registrada en **el Sistema Ambiental regional (SAR)** del proyecto, se considera que **el sistema arrecifal** presente en el SAR, **tiene un bajo desarrollo estructural, pues carece de una zonación típica de los arrecifes coralinos** (i.e., piso lagunar, arrecife posterior, cresta arrecifal, arrecife frontal, macizo rocoso; Cerdeira-Estrada *et al.* 2018). La ausencia de una cresta arrecifal, laguna arrecifal y arrecife frontal, así como la baja presencia de corales escleractinios (como principal elemento biótico por su papel como constructor arrecifal), genera una baja complejidad ambiental, o bien, homogeneidad ambiental, que resulta en baja diversidad y escasa biota asociada. Asimismo, aunque en el SAR se registraron especies consideradas pioneras o ruderales en los procesos de sucesión ecológica (e.g., *Siderastrea radians*, *Siderastrea siderea*), debido a los tamaños de las colonias, estas especies tienen un reducido aporte a la acreción arrecifal y un papel ecológico poco relevante en los procesos biogénicos de la construcción arrecifal.

Después del análisis de la condición que guardan los diferentes grupos taxonómicos (escleractinios: corales duros; gorgonáceos: corales blandos; vegetación marina: macroalgas y pastos marinos; ictiofauna: peces arrecifales; e invertebrados), **en términos generales, se reconoce que actualmente el arrecife del SAR, tiene una biota marina poco diversa.**

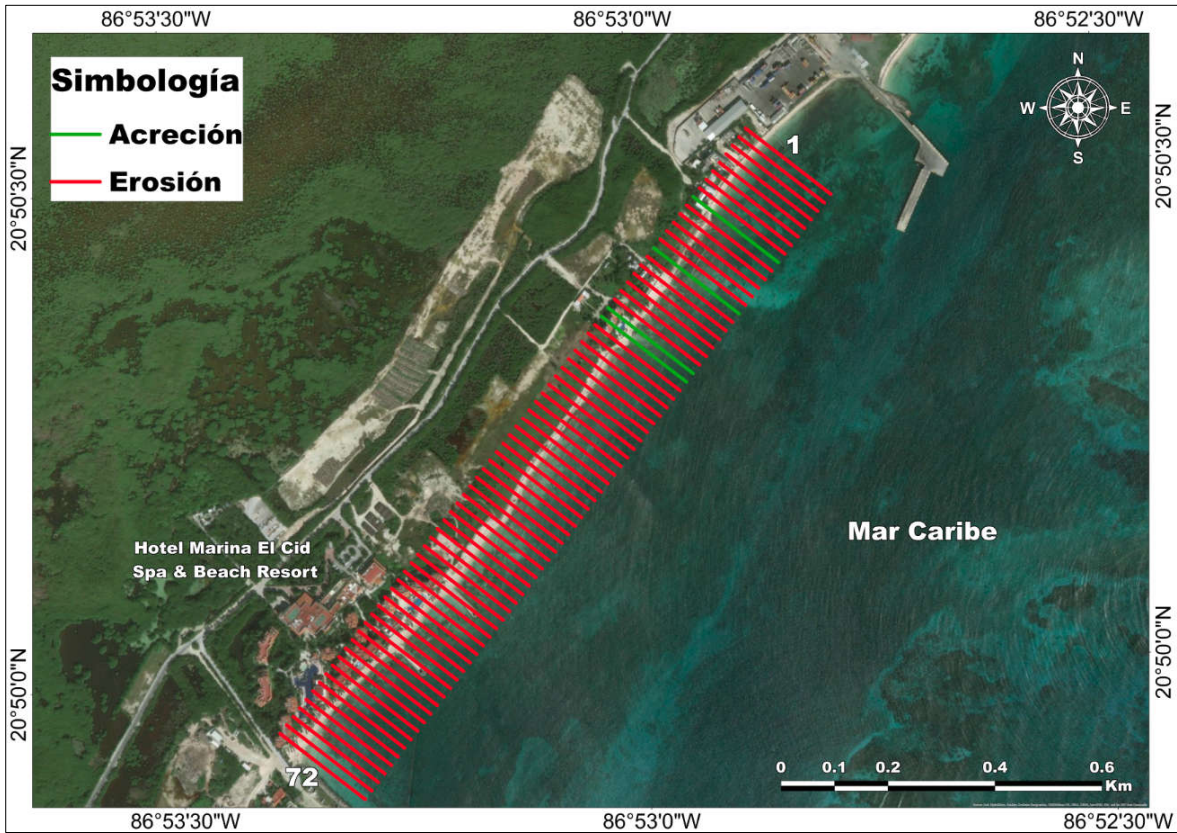
Con relación a las características abióticas del SAR (meso celda litoral), su límite oeste forma parte de la zona costera del estado de Quintana Roo. Dicha zona ha sido propensa a sufrir erosión costera y sus causas son tanto naturales (interacción de procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera) como antropogénicas (ocupación de la duna litoral por parte de particulares, construcción desordenada de obras de protección) (Guido *et al.* 2009). De forma específica, la zona costera que limita con el SAR, se ha visto deteriorada con el paso del tiempo por la construcción de infraestructura portuaria (i.e., Muelle Fiscal construido entre la década de los 60's y 70's del siglo pasado; Muelle de Cubos construido a finales de los 80's), ampliación del canal de

navegación (en la década de los 70’s) y construcción de tres espigones (de entre 60 y 70 m de largo construidos en fechas recientes).

Para evaluar parte de las características abióticas del SAR, se realizó un análisis de 1) velocidad de corrientes en la costa, 2) altura del oleaje. Estas evaluaciones se hicieron bajo diferentes escenarios de modelación: 1) Calma o no tormenta con oleaje del este (E); 2) Calma o no tormenta con oleaje del este sureste (ESE); 3) Tormentas con oleaje del este noreste (ENE; Norte); 4) Tormentas con oleaje del este (E); 5) Tormentas con oleaje del este sureste (ESE; surada); 6) Tormentas con oleaje del sureste (SE; surada); 7) Huracán con oleaje del este (E); dichos escenarios representan escenarios de modelación con estadísticamente mayor ocurrencia en el periodo de estudio. A través de estos modelos, se pudo observar que **los espigones (gazapos) que se encuentran actualmente, concentran parte de la energía del oleaje que acomete la playa provocando mayor transporte en sentido transversal y facilitando la pérdida de volumen de sedimento en la playa seca.** En los modelos con condiciones de Huracán también se observa que el Muelle Fiscal, el Muelle de Cubos y La Marina también concentran parte de la energía del oleaje que ataca la playa (Anexo II.1.1 y Anexo II.1.2). Estos resultados permiten observar un funcionamiento no deseado producido particularmente por los espigones.

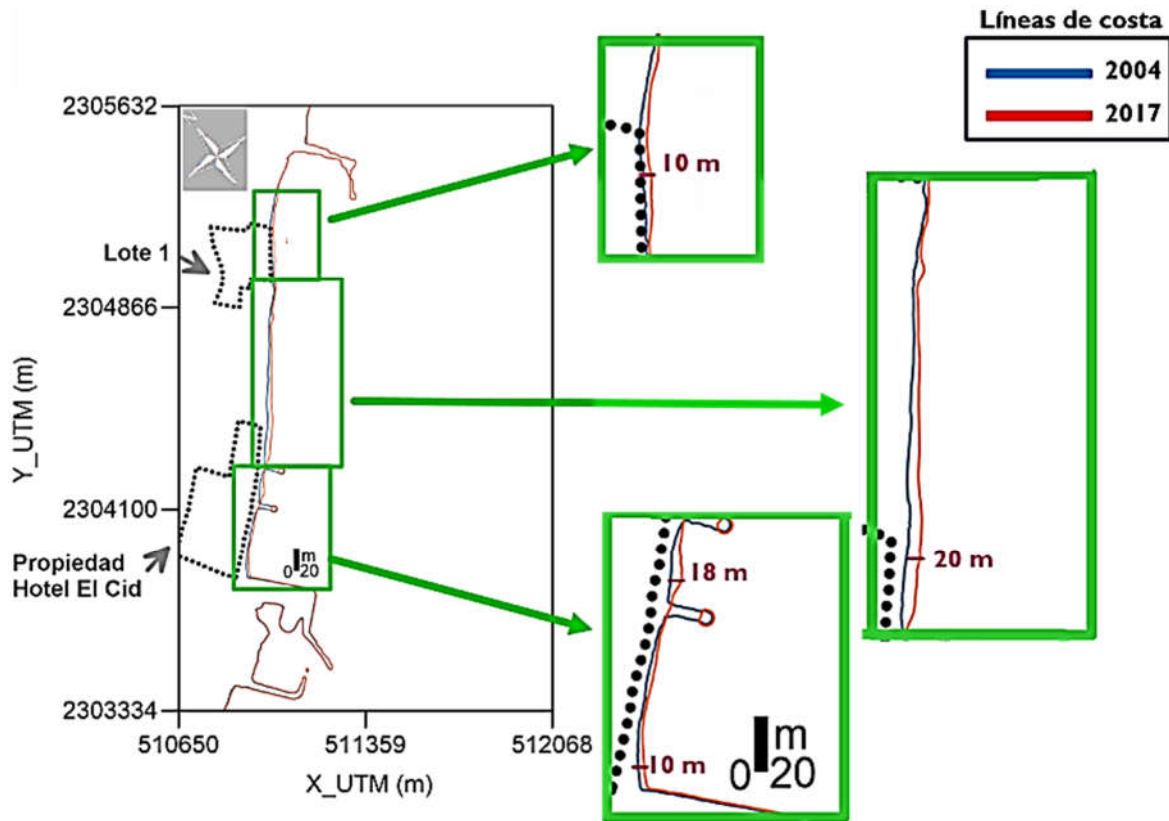
Por otra parte, con el propósito de identificar las modificaciones en la dinámica de la línea de costa, se realizó un análisis de la evolución de la línea de costa a partir de 12 imágenes satelitales obtenidas de Google Earth (2004 a 2017), en las cuales fueron estimadas las tasas de cambio (erosión/acreción) en 72 transectos perpendiculares a la costa, situados en la meso celda de afectación comprendida entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos, con una separación entre transectos de 20 m. Como resultado, la comparación entre las líneas de costa correspondientes a las fechas inicial y final del periodo de análisis (29 de septiembre de 2004 y 9 de enero de 2017), mostró **un retroceso en prácticamente toda el área** (líneas rojas, siguiente figura), **con valores de entre 10 y 20 m de regresión**, salvo en cuatro de los transectos situados en la zona norte de la región (líneas verdes, siguiente figura). Los **valores máximos (20 m) de retroceso de playa se identificaron en la región ocupada por los espigones instalados en la zona marina frente al hotel asociado al proyecto** (Anexo II.1).

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”



**Figura 1.** Cambio de la línea de costa en el periodo 2004–2017 (métodos EPR y NSM): en verde, acreción; en rojo, erosión.





**Figura 2.** Comparación de líneas de costa de 2004 y 2017: (a) Vista en planta; (b) detalle en zona del proyecto.

Los análisis anteriores demuestran que **la playa entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos se encuentra en evidente proceso de erosión**, detonado por la infraestructura portuaria construida por el gobierno estatal antes de 1988 y la construcción de los espigones en fechas recientes. Entre las consecuencias identificadas por el desarrollo de tales obras están: 1) modificación de la dinámica de sedimentos, provocando y erosión (al sur) del Muelle Fiscal, dichas secuelas se han ido agravando a lo largo de los años; 2) la extracción de rocas por la ampliación del canal de navegación y traslado de las mismas a la barra arenosa por efecto de marejadas y eventos meteorológicos; las rocas sobre la playa disminuyen la calidad visual del entorno inmediato del paisaje; 3) el establecimiento de una meso celda de afectación entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos (cuya longitud es de 1.68 km), la cual aísla e interrumpe las corrientes y los flujos de arena, tanto de sur a norte como de norte a sur (deflexión de la

corriente litoral); 4) el establecimiento de tres micro celdas de afectación entre los tres espigones (cuyas longitudes van de los 0.14 a 0.28 km), los cuales retienen el transporte de sedimentos, interrumpiendo su balance y distribución natural y acentuando el déficit de arena en las zonas de playa que quedan entre ellos y justo al lado de la marina; 5) transporte de la arena desde la playa emergida a la zona del canal de navegación; y 6) disminución continuada de la playa emergida.

### Descripción del escenario 1. En un escenario sin proyecto se esperaría que:

- La **biota marina** (escleractinios: corales duros; gorgonáceos: corales blandos; vegetación marina: macroalgas y pastos marinos; ictiofauna: peces arrecifales; e invertebrados) continúe registrando una baja diversidad y con tendencia a deteriorarse como lo señalan diferentes estudios en arrecifes coralinos (Arias-González *et al.* 2011, Healty Reefs 2015).
- El **sargazo** siga arribando anualmente, ya que es un fenómeno natural recurrente de “escala oceánica”. De acuerdo con ICTUR (2018), entre los principales efectos que puede generar la presencia de sargazo están: 1) reducción de luz y oxígeno (zonas afóticas, hipoxia y anoxia); 2) acidificación por producción de ácido sulfúrico ( $H_2S$ ); 3) Muerte o daño de corales; 4) aumento en las concentraciones de nitrógeno y fósforo (eutroficación); 5) aumento en la concentración de materia orgánica particulada (POM); 6) pérdida de pastos marinos: reemplazo por comunidades algales; 7) afectación a las poblaciones de tortugas marina durante su temporada de anidación; 8) impacto en especies de fauna asociadas al sargazo durante las actividades de remoción en el mar; 9) pérdida de playa como consecuencia de la desaparición de praderas de pastos marinos y por actividades de remoción de arena; 10) afectaciones en las actividades turísticas. De tal forma, que alguno o todos estos efectos podrían continuar ocurriendo a futuro.





**Figura 3.** Vista del sargazo sobre la playa colindante al SAR, casi en la esquina superior derecha se observa el Muelle Fiscal. Fotografía tomada por C. Delgado.

- Los **pastos marinos** se mantengan perturbados a futuro lo cual podría deberse a la excesiva cantidad de nutrientes y sobrepoblación de sargazo (Riosmena y López S/F). El exceso de nutrientes en el área provoca un crecimiento anormal y muy acelerado de algas resultando en ahogamiento de los pastos. Asimismo, de continuar la llegada masiva de sargazo, los pequeños parches de pastos marino registrados podrían continuar reduciendo su tamaño, ya que la presencia de sargazos genera sedimentos en suspensión, que, a su vez, incrementa la turbidez en el agua disminuyendo el desarrollo de los pastos.
- Las **tortugas** puedan seguir siendo afectadas debido a la reducción de la playa por erosión costera, aunado a la capa de sargazo sobre la playa que reduce sitios de anidación. Asimismo, el sargazo puede continuar acarreado material plástico que se queda en la playa; dicho material plástico puede atrapar a las tortugas y no logran deshacerse de él. Además, debido a la presencia de desperdicios de comida de los hoteles, los mapaches y tejones que proliferan en la playa atraídos por tales desperdicios se convierten en depredadores naturales de los nidos. Todos esto en conjunto, puede afectar la llegada de tortugas, la puesta de nidos y el tamaño de las poblaciones de tortugas.



**Figura 4.** Izquierda: zargaso sobre la playa que acarrea material plástico; derecha: material plástico sobre la playa. Fotografías tomadas por C. Delgado.

- Continúe el **aislamiento de la meso celda de afectación** entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos, interrumpiendo las corrientes y flujos de arena. Si a futuro continua el aislamiento de la meso celda de afectación, también se mantendrá la modificación de la dinámica de **sedimentos**, interrumpiendo su balance y distribución natural y acentuando el déficit de arena en las zonas de playa que quedan entre las estructuras portuarias y espigones.



**Figura 5.** Fotografía aérea con dron que abarcan la meso celda entre el Muelle Fiscal y el Muelle de Cubos, la cual forma parte del Sistema Ambiental Regional del proyecto (E. Díaz, agosto 2018). La zona rojiza que se observa en la orilla de la playa representa la turbiedad producida por la presencia de sargazo durante la época de lluvias.



## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- La **calidad visual** en el área marina se mantenga baja por la afectación de la corriente litoral que no permite un flujo de sedimentos y sargazo, lo cual mantiene turbia al agua marina. Todo ello puede afectar a futuro a la actividad turística e ictiofauna, ya que estos últimos dependen de aguas someras y cristalinas, provocando migración de peces hacia otros sitios.



**Figura 6.** Calidad visual baja en las micro celdas producidas por los espigones.

La **playa** continúe su erosión, y, por lo tanto, la reducción de su ancho (pérdida de terreno continental), lo cual pone en riesgo a la calidad paisajística, las edificaciones, actividad turística, empleos, derrama económica y establecimiento de nidos de tortugas.

### **VII. 2. Descripción y análisis del escenario con proyecto sin aplicar medidas de prevención, mitigación y compensación**

De llevarse a cabo los objetivos del presente estudio de impacto ambiental: 1) construcción de cuatro arrecifes artificiales como estructuras de protección costera; 2) Sustitución de las estructuras impermeables por andadores piloteados; y 3) Regeneración del ancho de playa seca, y de acuerdo con los análisis de proyección, se estima que habrá un cambio positivo en el SAR. Sin embargo, dichos cambios pueden ser muy lentos y/o con alteraciones negativas, si no se aplican las

medidas preventivas, de compensación y de mitigación del Capítulo VI de la presente MIA-R.

### **Descripción del escenario 2. Escenario con proyecto sin aplicar medidas de prevención, mitigación y compensación.**

- Con respecto a la **biota marina** esta se vería directamente afectada por la alteración del ambiente marino, provocada por el desarrollo del proyecto. De tal forma que, por la operación de los **arrecifes artificiales**, se espera que los hábitats y microhábitats se vean modificados, limitando el libre desplazamiento de las especies con mayor capacidad de desplazamiento (e.g., tortugas marinas) o con hábitos hogareños (e.g., Caracol rosado: *Lobatus gigas*). Para el caso del caracol rosado (*Lobatus gigas*), su distribución podría tener algún tipo de alteración, ya que los arrecifes artificiales podrían funcionar como una barrera, lo que limitaría su desplazamiento en búsqueda de sitios de alimentación, reproducción o sitios de descanso. Para el caso de las tortugas marinas, los arrecifes artificiales también podrían funcionar como barrera en el trayecto hacia la playa antes del desove y de regreso después del desove.

Por otra parte, la **sustitución de los espigones rígidos (gazapos) por andadores piloteados** afectaría a los organismos establecidos en los espigones actuales, en caso de no llevarse a cabo un rescate de fauna marina previo al retiro de los espigones; dichos organismos, no tendrían oportunidad de resguardarse, desplazarse y establecerse en nuevos sitios, lo que puede afectar individuos de las diferentes especies que pudieran estar en alguna categoría de riesgo en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Durante la preparación y construcción de las obras, se afectarían las especies acuáticas por extracción o eliminación de las mismas y si durante la preparación, construcción y operación del proyecto se introducen especies exóticas o no se retiran las que se observen, podría afectar a las especies nativas del área. En relación a las piezas que conformará los arrecifes artificiales podrían afectar la calidad del agua marina, si fueran conformadas por algún tipo de material contaminante.

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- En cuanto al **medio abiótico** también se generarían cambios, como sería sedimentación más lenta y se producirá una dinámica diferente en la corriente. La colocación de las estructuras, modificaría la cantidad de sedimento en las inmediaciones de la ubicación de las estructuras, derivado de los trabajos en el área.

Si la maquinaria, equipos y medios de transporte no están en estado óptimo, se generarían mayores emisiones de gases de efecto invernadero, así como disminución en el confort sonoro. Además de reducir la calidad del suelo y agua marina por derrame de sustancias químicas al reparar la maquinaria y el equipo en la zona de obras. Los trabajadores de la obra realizarían un mal manejo de los residuos, como la quema de los mismos, generando emisiones de humo y partículas a la atmósfera o bien la calidad del agua y suelo, se vería afectada por el vertido de residuos y sustancias químicas en dichos elementos.

La operación de los **arrecifes artificiales** permitirá tener ciclos de acreción/erosión más estables con el tiempo, así como mayor estabilidad en la playa, a través de la reposición de arena favoreciendo la amplitud de la playa. Ya que la **sustitución de los espigones rígidos** por andadores piloteados, permitirá una mejoría en el flujo de corrientes y sedimentos, lo que a su vez reducirá su aislamiento, aumentando la calidad del agua marina. Asimismo, con la **regeneración del ancho de playa** del hotel asociado al Proyecto es así que a corto, mediano y largo plazo, se esperaría que estas obras en conjunto produzcan una mejoría en la dinámica de sedimentos y de corrientes, así como en la calidad visual del paisaje.

- En relación al **medio social**, con la ejecución de las obras del proyecto se espera producir una mayor satisfacción del turista visitante, así como mantenimiento de empleos con mano de obra de la zona, contratación de empresas de la región y derrama económica local pero con afectaciones negativas al ambiente, la mayoría de ellas de manera puntual y temporales.

### VII. 3. Descripción y análisis del escenario considerando las medidas de mitigación

El desarrollo del proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”, va a generar diferentes cambios ambientales en el área del proyecto y en el SAR. Este escenario es muy similar al



escenario en el cual se contempla la realización del proyecto, pero evitando el riesgo de los impactos que podría causar gracias a las medidas de prevención, mitigación y compensación (detalladas en el Capítulo VI del presente estudio) que se contemplaron.

A continuación, se mencionan algunas de las medidas establecidas a fin de facilitar la comprensión del tercer escenario (proyecto con medidas de mitigación, prevención y compensación).

Para el desarrollo de las obras en sus diferentes etapas se aplicará el **Programa de Manejo Ambiental (PMA)**, con el fin de cumplir con cada una de las medidas previstas.

Las acciones antes propuestas serán integradas en este PMA, el cual estará conformado por los siguientes subprogramas:

- **Subprograma de Rescate y Reubicación de Fauna Marina (SRRFM).** Este subprograma tiene como principal propósito, proteger y conservar a los individuos de las especies de fauna marina que sean más susceptibles y que se encuentren en el área de afectación directa del proyecto, con el fin de conservar sus poblaciones y con ello los procesos ecológicos marinos.

Las técnicas de rescate, manejo y reubicación de los organismos marinos, así como los indicadores de seguimiento ayudarán a garantizar que la sobrevivencia de los individuos sea alta y se puedan reintegrar a su nuevo hábitat natural.

Las principales acciones para alcanzar los objetivos de este Subprograma son: el rescate, la reubicación y el monitoreo ambiental de la fauna marina, además de acciones para la restauración de la zona a través de trasplantes de colonias de coral.

- **Subprograma de Monitoreo de Perfiles Costeros (SMPC).** El monitoreo de la zona de playa, permitirá identificar el comportamiento de la misma, y evaluar la eficacia y eficiencia de la implementación del proyecto en especial la función de los arrecifes artificiales, como medida de mitigación para frenar el proceso erosivo que se presenta, y de ser el caso, identificar a tiempo cualquier alteración en la

playa que no haya sido contemplada en los modelos anteriormente realizados con la finalidad de establecer acciones correctivas.

- **Subprograma de acciones independientes (SAI).** Este subprograma tiene como finalidad implementar todas aquellas acciones necesarias de prevención, mitigación, manejo y control apropiado de los impactos no contemplados en los subprogramas anteriores, o de los impactos no previstos que pudieran generarse en el futuro en cada una de las etapas dentro del área del proyecto.

Además del Programa de Manejo Ambiental, y de sus correspondientes subprogramas (SRRFM, SMPC y SAI), previa y brevemente descritos, se implementarán acciones o medidas de prevención, mitigación y compensación no contemplados dentro de los anteriores subprogramas. Dichas acciones o medidas estarán incluidas dentro del **Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos, Quintana Roo** (Anexo V.2), así como dentro del **Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Quintana Roo** (Anexo V.3). Tanto el Plan de Manejo de Residuos como el Programa de Manejo de Tortuga antes mencionado son ejecutados actualmente por el hotel asociado al proyecto.

### Residuos

A continuación, se describen algunas de las medidas más relevantes, de prevención y mitigación, relacionadas con los residuos a ser consideradas en el desarrollo del proyecto:

- Se colocará una malla geotextil alrededor de las obras (arrecifes artificiales, translocación de arena, relleno de playa, retiro de espigones e instalación de andadores) de 0.5 mm de luz, que se prolongará hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos.
- En el caso del relleno de playa, considerando que el vertido de arena en la playa se llevará a cabo una vez que los arrecifes artificiales estén colocados y que se hará mediante una manguera en un sitio localizado, se espera que la resuspensión de sedimento sea menor, sin embargo, en caso de observarse que

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

- la pluma de sedimento se disperse más allá de la zona de colocación de los Arrecifes Artificiales, se detendrán las acciones y se colocará la malla geotextil.
- Se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables respecto a la turbidez.
  - Se supervisará periódicamente que las piezas que componen a los arrecifes artificiales se mantengan en su sitio especialmente después del paso de un huracán y de ser necesario serán reubicados.
  - A bordo de la embarcación se tendrán contenedores para basura orgánica e inorgánica donde se depositarán los residuos generados por los trabajadores, para posteriormente ser depositados en los sitios específicos para ello dentro de las instalaciones del hotel asociado al proyecto.
  - Se verificará que los trabajadores no arrojen ningún tipo de sustancia o residuo directamente al suelo o al mar.
  - Se prohibirá el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos no biodegradables.
  - Se prohibirá la quema de desechos sólidos y vegetación.
  - Las estructuras que formarán los arrecifes artificiales se trasladarán al sitio ya lavadas, para evitar la contaminación del agua por cualquier residuo y se verificará que las estructuras se encuentren limpias y libres de cualquier residuo antes de ingresar a la zona marina.
  - El personal que se contrate, operadores y buzos contarán con experiencia en este tipo de labores para evitar accidentes y alguna afectación al personal y al medio.
  - En caso de algún derrame accidental de hidrocarburos se detendrán las operaciones y se colocarán barreras absorbentes flotantes de hidrocarburos para contener y retirar el combustible.

Con la instrumentación de todas las acciones y actividades contempladas en los diferentes programas, se espera que el Proyecto se desarrolle generando el menor número de impactos, donde el escenario a futuro sería la presencia de una playa restablecida con un ancho semejante al que presentaba antes de las afectaciones naturales y antropicas. El restablecimiento de la dinámica costera donde el flujo de las corrientes evitan la contaminación de las aguas frente al hotel al cual se encuentra asociado el Proyecto, un oleaje que permita el flujo pero a la vez la sedimentación de la arena evitando de esta forma la erosión de la playa. La

## PROYECTO: “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”

permanencia de las diferentes especies de organismos identificados en e área de Proyecto, así como el aumento de la presencia de algunos organismos sesiles, al contar con sustrato que permite que se fijen larvas así como la colonización de corales. Esponjas, y diferentes crustaceos y el refugio de peces, todo esto sin afectar la zona por la turbidez del agua, misma que se mantendria controlada por la instalación de las geomallas durante la instalación de las estructuras, cambio de las estructuras rigidas así como durante el relleno de playas. Las aguas tampoco se verán contaminadas por residuos sólidos, liquidos o por derrames de combustibles ya que la implementación de contenedores para residuos, el uso de sanitarios, y el contar con el equipo adecuado para la contención de derrames de hidrocarburos en mar Como en tierra eviatará la contaminación.

Con la disminución del oleaje y la restauración de la playa, se espera también, el aumento del tamaño de los parches de pasto marino, y, por lo tanto, aumento de sitios de reproducción, alimentación, refugio y alimentación para otros organismos. También se espera tener una mejora en la calidad visual del paisaje.

En relación al **medio social**, con la ejecución de las obras del proyecto se espera producir una mayor satisfacción del turista visitante, así como mantenimiento de empleos con mano de obra de la zona, contratación de empresas de la región y derrama económica local.

Las poblaciones de Tortuga se verán beneficiadas al contar con sitios adecuados para la anidación y eclosión de las crias, además de que no se verá afectado su paso tanto de hembras como de crias hacia la playa y de regreso al mar por las estructuras dado el espacio que se localiza entre los arrecifes artificiales.

De esta manera, se espera tener una mejor respuesta del ecosistema, por lo que se prevé que, con la ejecución del proyecto, así como de las medidas de prevención, mitigación y compensación, los cambios serán favorables y con mínimos efectos negativos.

### VII. 4. Pronóstico ambiental

Tomando en cuenta los escenarios descritos anteriormente, principalmente (dos y tres), se deduce que la tendencia del proyecto es mejorar las condiciones en el SAR. La implementación de las medidas de mitigación y compensación, contribuye a la mejora progresiva en el equilibrio y diversidad del ecosistema del área en cada una de las partes.

1. La modificación del perfil de playa, debido a la disminución de la fuerza y altura del oleaje, lo cual evitará la erosión en la parte seca y la parte inmersa de la playa, y por lo tanto la recuperación del ancho de la parte seca de la playa; y por otro lado la disminución de la turbidez en el agua.
2. La recuperación del ancho de la parte seca de la playa, mejorara las zonas de anidación de las tortugas, y el servicio turístico.
3. El establecimiento gradual de biota en la zona de los rompe olas, para generar nuevas interacciones bióticas, y por lo tanto, un flujo dinámico en el ecosistema.
4. En general, la mejora ambiental del SAR, derivado de todas las acciones que se ejecutaran en el proyecto.

### VII. 5. Evaluación de alternativas

En el proyecto “Arrecifes artificiales como estructuras de protección contra la erosión y regeneración de playas”, contempló alternativas de ubicación de las estructuras, cambiando su posición a la recomendada en un principio, esto con el propósito de no afectar los parches de pastos observados durante la caracterización del sitio del proyecto, es así que durante el primer muestreo de flora y fauna marina al observarse la presencia de pastos, se reubicaron las estructuras de protección y se corrieron nuevamente los modelos a fin de mantener la mayor eficacia de las estructuras, es así que la ubicación que se propone en el presente estudio, no afecta la zona de pastos, y con ello da cumplimiento también a lo establecido en los diferentes instrumentos que protegen este tipo de vegetación. Con base en lo anterior, se puede asegurar que la evaluación de alternativas

permite presentar el mejor proyecto tanto en lo que confiere a elementos naturales como de ingeniería lo cual brindará los mejores resultados a la problemática identificada y que requiere ser tratada en beneficio no solo del sector turismo, sino también en lo ambiental y en los elementos no bióticos, como es la dinámica costera.

### VII. 6. Conclusiones

En caso de no ser autorizado el proyecto, la meso celda de afectación generada entre el Muelle Fiscal y Muelle de Cubos, así como las micro celdas generadas entre los espigones (estructuras impermeables), continuarán: 1) afectando la dinámica de sedimentos y corrientes debido a su aislamiento; 2) alterando el ciclo de erosión/acreción de playa y reduciendo la línea de costa; 3) manteniendo la turbidez del agua marina por efecto de la llegada masiva y periódica de sargazo; 4) disminuyendo el tamaño de los parches de pastos marinos; 5) disminuyendo la población de tortugas marinas; 6) contribuyendo a la perturbación de arrecifes coralinos así como a la disminución de su biodiversidad; 7) empeorando la calidad visual del paisaje; 8) afectando la actividad turística, y por ende, puede poner en riesgo, los empleos locales y derrama económica.

Con la implementación del proyecto, sin la aplicación de medidas de prevención, mitigación y compensación, se espera que las condiciones del área del proyecto mejoren lentamente, pero producirán otros impactos negativos al medio biótico, abiótico y social.

No obstante, aunque el proyecto genere una serie de impactos ambientales de naturaleza negativa, entre compatibles y moderados, su desarrollo traerá consigo efectos positivos para la zona. Ya que, con la instalación de los arrecifes artificiales, sustitución de espigones por andadores piloteados y la reincorporación de arena a la playa, se establecerán las condiciones para la recuperación del ancho de la playa, el cual se ha perdido por el proceso de erosión presente en el área. Este incremento será benéfico no sólo para los turistas que se recrean en la zona sino también para proveer mejores condiciones para la anidación de las tortugas marinas, pues estos quelonios prefieren playas anchas de pendientes suaves para el éxito de su anidación.



Si bien, los resultados muestran la existencia de impactos moderados, el beneficio por la implementación del Proyecto será mayor, ya que éstos no causarán desequilibrios ecológicos que puedan poner en peligro la integridad ecológica del ambiente, pues se llevarán a cabo acciones para prevenir, mitigar o compensar los posibles impactos con el fin de no incidir aún más en el deterioro del SAR y por el contrario ayudar en su mejora.

### VII.7 Referencias

- Anfuso, G. 2004. Caracterización de celdas litorales en un tramo costero aparentemente homogéneo del litoral de Cádiz (sur de España). *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 18: 25-36.
- Arias-González, J.E., E. Nuñez-Lara, F.A. Rodríguez-Zaragoza y P. Legendre. 2011. Indicadores del paisaje arrecifal para la conservación de la biodiversidad de los arrecifes de coral del Caribe. *Ciencias Marinas*, 37: 87–96.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Biodiversidad Mexicana: Ecorregiones marinas. Disponible en: <<https://www.biodiversidad.gob.mx/region/pdf/ecorregiones1.pdf>>.
- Gómez Orea, D. 2007. Evaluación Ambiental Estratégica. Madrid, Mundi Prensa. 360 pp.
- Guido-Aldana, P., A. Ramírez-Camperos, L. Godínez-Orta, S. Cruz-León, y A. Juárez-León. 2009. Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos*. 20, pp.41-56.
- Healthy Reefs. 2015. Report Card. Mesoamerican Reef. An evaluation of Ecosystem health. (<http://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2015/05/MAR-EN-small.pdf>).
- International Association of Dredging Companies (IADC). 2007. Facts about Turbidez. <https://www.iadc-dredging.com/ul/cms/fck-uploaded/documents/PDF%20Facts%20About/translations/facts-about-turbidity-spanish.pdf>.
- Instituto de Competitividad Turística (ICTUR). 2018. Sargazo. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica en Turismo. Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Secretaría de Turismo. (SECTUR). Disponible en: <<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultados-conacyt/convocatorias-fondos->

*sectoriales-constituidos/convocatoria-sectur-conacyt-1/convocatoria-abierta-sectur/18-02-sectur/18380-demanda-del-sector-2018-2/file>.*

Ruiz-Martínez, G., R. Silva-Casarín y G. Posada-Vanegas. 2013. Comparación morfodinámica de la costa noroeste del estado de Quintana Roo, México. Tecnología y Ciencias del Agua, IV (Julio-Agosto).

Silva, R., Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P., Mendoza, E., López-Portillo, J., Lithgow, D., Vázquez, G., Martínez-Martínez, R.E., Monroy-Ibarra, R., Cáceres-Puig, J.I., Ramírez-Hernández, A., BoyTamborell, M. 2017. Aspectos generales de la zona costera. UNAM; INECOL. 54 pp.

# CAPÍTULO VIII

IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y  
ELEMENTOS TÉCNICO QUE SUSTENTAN LOS RESULTADOS DE LA  
MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL



**VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LOS RESULTADOS DE LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL**

A continuación, se presentan las memorias, documentación, oficios, planos constructivos, evidencias fotográficas y videográficas en los que se apoyó la elaboración de los análisis de la presente manifestación de impacto ambiental.

Capítulo	Título
<b>I</b>	<b>Datos generales del Proyecto, del Promovente y del responsable del Estudio de Impacto Ambiental.</b>
Anexo I.1	Sociedad Mercantil 1997. Acta Constitutiva
Anexo I.2	Sociedad Mercantil 2009. Poder Notarial del Representante.
Anexo I.3	Oficio 943/QROO/2014 Título de Concesión L1
Anexo I.4	Oficio 1992/QROO/07 Título de Concesión L15
Anexo I.5	Oficio 1053/QROO/2013 Título de Concesión L34
Anexo I.6	Oficio 1052/QROO2013 Título de Concesión L35
Anexo I.7	RFC CPA970811PW4
Anexo I.8	Pasaporte CURP TOMJ580802
Anexo I.9	RFC TCA100722SQ4
Anexo I.10	IFE Oscar Vera Mackintosh
Anexo I.11	CURP VEMO550614HDFRCS00
Anexo I.12	RFC VEMO5506141HA
Anexo I.13	Cédula Profesional Oscar Vera Mackintosch
<b>II</b>	<b>Descripción de las obras o actividades y, en su caso, de los programas o planes parciales de desarrollo.</b>
Anexo II.1	Informe técnico Hotel El Cid Memoria
Anexo II.1.1	Oleaje

Capítulo	Título
Anexo II.1.2	Corrientes de oleaje
Anexo II.1.3	Respuesta morfológica
Anexo II.2	Análisis de compatibilidad del sedimento para el relleno de la playa
Anexo II.3	Diseño en sección transversal de las estructuras – tamaño de pieza
Anexo II.4	Proceso Constructivo Escolleras Puerto Morelos
Anexo II.5	Proceso estructura 4
Anexo II.6	Proceso estructura 2
Anexo II.7	Proceso estructura 3
Anexo II.8	Elementos Técnicos para determinar las zonas de extracción de arena (bancos de arena)
Anexo II.9	Modelo de simulación hidrodinámica y evolución morfológica de la celda litoral
Anexo II.10	Oficio No. PFPC/4.1/2C.27.5/00004-18/015-19
<b>IV</b>	<b>Descripción del Sistema Ambiental Regional (SAR) y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región.</b>
Anexo IV.1	Caracterización biológica marina del Sistema Ambiental Regional. Informe Técnico.
Anexo IV.2	Anexo fotográfico: evidencia de trabajo.
Anexo IV.3	Mapas
Anexo IV.4	Anexo videográfico: muestreos.
Anexo IV.4.1	Muestreo ambiente Laja con algas y gorgonáceos
Anexo IV.4.2	Muestreo Estructura E1
Anexo IV.4.3	Muestreo Estructura E2
Anexo IV.4.4	Muestreo Estructura E3

Capítulo	Título
Anexo IV.4.5	Muestreo Estructura E4
<b>V</b>	<b>Identificación, caracterización y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales del Sistema Ambiental Regional.</b>
Anexo V.1	Metodología de Identificación, descripción y valoración de los Impactos Ambientales generados por el proyecto.
Anexo V.2	Plan de Manejo de Residuos sólidos urbanos y de manejo especial Hotel Marina El Cid Spa & Beach Resort Cancún Riviera Maya, Puerto Morelos, Q. Roo.
Anexo V.3	Programa de Manejo de Tortuga, El Cid de Cancún, Puerto Morelos, Q. Roo.