

Manual de Monitoreo Submareal





Manual de Monitoreo Submareal

Stuart Banks, David Acuña, Margarita Brandt, Rosita Calderón, Julio Delgado, Graham Edgar, Lauren Garske-García, Inti Keith, Angela Kuhn, Roberto Pépolas, Diego Ruiz, Jenifer Suárez, Nathalia Tirado-Sánchez, Mariana Vera, Luis Vinueza y Ewan Wakefield.



(imagen: R. Gallardo)

Los métodos descritos en este Manual de Monitoreo Submareal fueron desarrollados a través de la gestión del equipo científico del Área de Investigaciones Marinas (Biomar) de la Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos, durante un periodo de más de 15 años. Estos trabajos contaron con el soporte de una amplia base de expertos marinos, estudiantes, voluntarios y donantes, los cuales están reconocidos en este documento.

Quito, 2016

© Conservación Internacional Ecuador, 2016
ISBN: 978-9942-14-300-6

Este documento debe citarse de la siguiente manera:

Banks, S., Acuña, D., Brandt, M., Calderón, R., Delgado, J., Edgar, G., Garske-García, L., Keith, I., Kuhn, A., Pépolas, R., Ruiz, D., Suárez, J., Tirado-Sánchez, N., Vera, M., Vinuesa, L. y Wakefield, E. 2016. Manual de Monitoreo Submareal. Conservación Internacional Ecuador y Fundación Charles Darwin. Quito, Ecuador.

Editado por:

Stuart Banks, Gerente de Ciencias Marinas, Paisaje Marino del Pacífico Este Tropical (ETPS, por sus siglas en inglés). Conservación Internacional, Galápagos.

Revisado por:

Mariana Vera, Especialista en Mercadeo Social y Monitoreo Marino, Conservación Internacional Ecuador, Galápagos.

Belén Vallejo, Coordinadora de Comunicaciones, Conservación Internacional Ecuador, Quito.

Diseño gráfico:

Alejandra Camacho

Fotografías de portada y contraportada:

Graham Edgar (portada), Rafael Gallardo (contraportada)

Fotografías internas:

Stuart Banks, Diego Bermeo, Fundación Charles Darwin - Biomar, Alejandra Camacho, Angel Chiriboga, Graham Edgar, Gene Feldman, Rafael Gallardo, Jonathan Green, Hans Lugo, Juan Carlos Moncayo, Macarena Parra, Jorge Ramírez, Diego Ruiz, Pelayo Salinas, German Soler, Anna Schubauer, William Sweet, Natalia Tirado, Mariana Vera, Vulcan Inc. y Jon Witman.

Impreso por:

Imprenta Rimana, Quito

El Manual de Monitoreo Submareal fue elaborado con el apoyo técnico de la Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos y Conservación Internacional. Esta publicación fue financiada por The Leona M. and Harry B. Helmsley Charitable Trust, en el marco del Proyecto Monitoreo Ecológico en la Reserva Marina de Galápagos (RMG), ejecutado por Conservación Internacional Ecuador.

Las opiniones expresadas en este documento son de estricta responsabilidad de los autores y no representan necesariamente las opiniones de CI-Ecuador o de sus donantes.

Para más información visite: www.conservation.org.ec



Esta obra posee una Licencia Creative Commons Atribución-No-Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> Esta obra se puede copiar y difundir libremente citando la fuente, sin hacer un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

AGRADECIMIENTOS



Este Manual fue elaborado para ayudar a consolidar las bases técnicas para futuras medidas de conservación en la Reserva Marina de Galapagos. La meta es contribuir a los trabajos claves, arduos y cotidianos que realiza el Ministerio del Ambiente del Ecuador a través de sus brazos operativos en las islas, el Parque Nacional Galápagos y la Agencia de Bioseguridad. También reconocemos la apertura, el rol clave y la sólida colaboración del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) y de la Capitanía de las zonas portuarias durante el periodo 1997-2015.

Queremos agradecer a los donantes que apoyaron al Programa de Ciencias Marinas de la FCD durante el periodo 1997-2015. Estas oportunidades no solo proporcionaron un soporte financiero, sino que también convocaron trabajos complementarios. Sembraron incentivos con impactos más allá del alcance original de los proyectos y nos dieron aportes técnicos en colaboración con diversos actores locales, nacionales e internacionales. Estos aportes, sin duda, han generado un mejor entendimiento de los objetos de la conservación de la zona marina-costera de Galápagos.

Este trabajo fue posible en gran medida gracias al nivel de compromiso e interés en la conservación de las islas de todos los actores mencionados anteriormente.



PRESENTACIÓN





Laboratorio marino (ECCD-Biomar) desde la Ratonera (Imagen: D. Bermeo)

La selección de la temática presentada y analizada y el detalle metodológico desarrollado en este Manual de monitoreo Submareal, dan cuenta de la rigurosidad que proponen los autores para otorgar a la comunidad académica y de ciencia uno de los instrumentos más completos para diseñar resultados científicos serios para entender mejor la ecología de la Reserva Marina de Galapagos (RMG).

Este manual nos permite dimensionar la complejidad que supone cada proyecto científico, y todas las variables que se deben tomar en cuenta al momento de empezar un nuevo proyecto de investigación.

Técnicas como los transectos, conteos, muestreos, censos, mediciones, video cámaras, búsquedas dirigidas, vehículos de operación remota, entre otras; son herramientas clave que nos ayudan a desarrollar la información y que se puede aplicar en muchos ejercicios de campo. La información levantada tiene tal relevancia, pues a partir de ella se informa, discute, considera, y sustentan los diversos argumentos que orientan la toma de decisiones de manejo en la RMG. Sin embargo; subrayo el sustancial aporte de Stuart Banks en el desarrollo del método científico sobre la base del conocimiento de la Reserva Marina de Galápagos, su dinámica oceánica, los diferentes ecosistemas e incluso llegan al análisis del nicho y dinámica de muchas especies clave.

Quizás se trata del primer manual publicado en su categoría puesto que le permite al lector guardar la dimensión de la complejidad de lo que es hacer ciencia e investigación marina en las islas Galápagos y también encontrar el enlace entre la técnica, la experiencia y el conocimiento.

Este manual de Monitoreo Submareal nacido en Galápagos, marca una pauta para que los futuros investigadores marinos puedan replicar el método científico cuyo desarrollo ha tomado varias décadas de perfeccionamiento y que hoy pueden ser de utilidad para su aplicación presente y futura en un País que por primera vez empieza a mirar con seriedad a la ciencia, la investigación y su importancia para el manejo y conservación de nuestros mares.

Este manual sin duda, pasa a ser un documento de "uso obligatorio" para antiguos y nuevos investigadores que quieran sumergirse en las profundidades marinas y entregarnos la información más relevante para una mejor comprensión de un mundo oceánico aún desconocido.

Walter Bustos

Director del Parque Nacional Galápagos





RECONOCIMIENTOS:

Este manual de monitoreo es el resultado del arduo trabajo, el profesionalismo, el compromiso y la buena voluntad de docenas de investigadores, voluntarios y estudiantes de la Fundación Charles Darwin. Desde 1997 han contribuido a la conservación de la Reserva Marina de Galápagos (RMG) mediante el desarrollo de conocimiento científico sobre su estructura y funcionamiento. A lo largo de los años, nuestra mayor fuente de inspiración y motivación ha sido la increíble mezcla de vida y misterio que caracteriza a las islas Galápagos. La fascinación por el mar fue el común denominador para la formación de un equipo único de personas de diversas experiencias que comparten una misma visión: desarrollar ciencia para la conservación de Galápagos. Quienes tuvimos la fortuna de explorar las profundidades de la RMG como parte de ese equipo, llevamos a cabo nuestra misión pensando siempre en nuestros principales socios: la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) y el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR). De igual manera, siempre contamos con el apoyo de diversos donantes, organizaciones no gubernamentales, universidades y la comunidad local, en la ardua tarea de contribuir a la sostenibilidad de este patrimonio natural de la humanidad.

La realización de los proyectos y estudios descritos en esta guía fueron impulsados originalmente por un grupo de profesionales visionarios, que fueron clave en el desarrollo de la investigación marina en el archipiélago. Entre ellos se encuentran Rodrigo Bustamante, Eliécer Cruz, Robert Bensted-Smith y Pippa Heylings. Cabe destacar a Graham Edgar y a Jon Witman, cuyo rigor científico ha servido de inspiración y apoyo a los investigadores del área de investigación y conservación marina de la Fundación Charles Darwin, conocida informalmente como BIOMAR. De igual manera, el trabajo de expertos como Manfred Altamirano y Manuel Bravo fue clave para construir un puente entre la ciencia y el manejo. Otros colaboradores clave han sido Ken Collins, Terry Dawson, John Morrison, Joshua Feingold y Gene Feldman, así como Peter Glynn y Cleve Hickman, que han sido eminencias en sus respectivos campos de estudio desde la década del 70. Por último, cabe resaltar a dos ejemplos para la ciencia y el buen vivir: Günther Reck y Godfrey Merlen. Todos ellos representan un cúmulo de gente inspiradora que realiza su trabajo con verdadera pasión y cuyo conocimiento ha contribuido a entender y conservar los ecosistemas marinos de las islas Galápagos. Mi reconocimiento y agradecimiento a todos ellos.

Desde la declaración de la RMG en 1998, más de 300 profesionales, estudiantes y voluntarios han aportado al trabajo de BIOMAR. Sus labores, inversión y legado están reflejados en este manual. En lo personal, espero que este documento ayude a preservar el rol técnico velado por BIOMAR y que, además, sirva como guía para que futuros investigadores continúen con el desarrollo de la investigación marina en un Galápagos que nunca deja de cambiar y de asombrarnos.

Stuart Banks

STUART BANKS

OCEANÓGRAFO DE LA ECCD (MAYO 2000 - JUNIO 2014)



UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL A LOS INVESTIGADORES
Y BUZOS CIENTÍFICOS INVOLUCRADOS EN EL TRABAJO
DE CAMPO DEL MONITOREO SUBMAREAL
1994 - 2014

Alex Hearn

Alicia Bertolotti

Ana Astorga

Ana Dolma

Ángel Chiriboga

Ángela Kuhn

Annemarie Kramer

Annie Lalancette

Annika Krutwa

Ben Ruttenburg

Claire Raymond

Claudia Molina

David Acuña

Diego Ruíz

Ewan Wakefield

Fernando Cornejo

Fernando Pinillos

Fernando Rivera

Franklin Arreaga

Franz Smith

Giancarlo Toti

Graham Edgar

Inti Keith

Karen Looft

Karol García

Ken Collins

Kirsten Nash

Lauren Garske

Lilly Milligan

Linda Kerrison

Lissa Barr

Luis Vinuesa

Macarena Parra

Malcolm Lindsay

Margarita Brandt

Jenifer Suárez

Jenny Mallinson

Jerson Moreno

Jessica Ratcliff

Johan Romero Reina

Jon Witman

Jorge Baque

Jose Miguel Fariña

Juan Carlos Balda

Julio Delgado

Marco Toscano

Mariana Vera

Marina Andrés

Matthias Wolff

Mauricio Castrejón

Mónica Calvopiña

Natalia Tirado

Pamela Flannigan

Paul Tompkins

Petra Wallem

Priscilla Martínez

Richard Wollecombe

Rob Adams

Robert Sanzogni

Roberto Jiménez

Roby Pépolas

Rodrigo Bustamante

Rosita Calderón

Santiago Vega

Scott Henderson

Soledad Luna

Steve Tengwell

Stuart Banks

Susan Baker

Terry Dawson

Vanessa Francisco



TABLA DE CONTENIDOS

1. Antecedentes	13
2. Objetivos del monitoreo submareal	21
3. Selección y caracterización de sitios de diagnóstico	29
4. Indicadores sobre el estado biofísico de la RMG	33
5. Seguridad y prerequisites para el buceo	40
6. La organización del buceo científico en el campo	43
7. Macroinvertebrados sésiles y algas	47
8. Peces demersales de arrecife y vertebrados marinos	52
9. Macroinvertebrados móviles	59
10. Mesogastrópodos	63
11. Censo de peces pelágicos	62
12. Caracterización y seguimiento del estado de los hábitats de la RMG	67
13. Búsquedas dirigidas para especies amenazadas y especies problemáticas	73
14. Mapeo y monitoreo de arrecifes coralinos	82
15. Muestreo oceanográfico	91
16. Técnicas de monitoreo remoto submarino	112
17. Colección, fijación, preservación y etiquetado de especies	119
18. Las colecciones marinas	122
19. El manejo de datos	128
20. Literatura citada	132



Punta Moreno (Imagen: M. Vera)

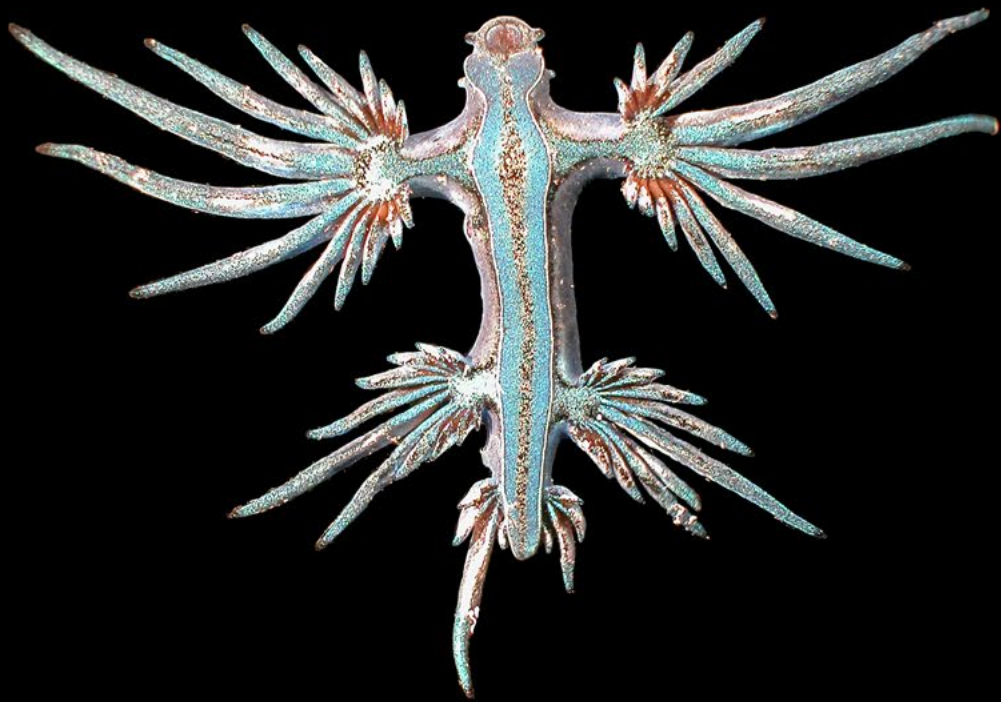
LISTADO DE TABLAS

TABLA 2-2 :	Fuentes principales de información biofísica aplicado a las líneas de investigación para la RMG por parte de la FCD.	25
TABLA 3-3A:	Grupos de sitios seleccionados para el monitoreo ecológico submareal.	31
TABLA 3-3B:	Grupos de sitios seleccionados para el monitoreo ecológico submareal.	32
TABLA 4-1:	Índices informativos sobre el diseño espacial del APM.	34
TABLA 4-2 A:	Índices biofísicos para la RMG basados en datos poblacionales obtenidos por censos visuales, marcaje y recaptura.	35
TABLA 4-2 B:	Índices biofísicos para la RMG basados en datos de comunidades por hábitat obtenidos por medio de censos visuales y modelaje.	36
TABLA 4-2 C:	Índices oceanográficos y de clima para la RMG basados en datos remotos satelitales, sensores submarinos y cruceros oceanográficos.	37
TABLA 4-2 D:	Índices biofísicos para la RMG basados en estimaciones de reclutamiento por censos poblacionales y uso de colectores de larvas y juveniles.	38
TABLA 4-2 E:	Índices biofísicos para la RMG basados en datos sobre las pesquerías artesanales de Galápagos.	39
TABLA 8-1:	Intervalos de tallas aplicados para el monitoreo de peces con su referencia en la Base de Datos Submarina.	54
TABLA 8-2:	Rangos típicos de tallas para una selección de peces comunes.	55
TABLA 12-1:	Escala semicuantitativa de cobertura aplicada en el mapeo.	70
TABLA 12-2:	Las categorías aplicadas en el mapeo de hábitat submareal (ejemplo de un perfil vertical).	70
TABLA 13-1:	El registro de peces y macroinvertebrados móviles costeros poco comunes considerados amenazados según criterio de UICN Lista Roja (v2013.2).	77
TABLA 13-2:	El registro de corales ahermatípicos sésiles considerados amenazados según criterio de UICN Lista Roja (v2013.2).	78
TABLA 13-3A:	El registro de algas marinas consideradas amenazadas según criterio de UICN Lista Roja, (continúa en tabla 13-3B).	78
TABLA 13-3B:	El registro de algas marinas consideradas amenazadas según criterio de UICN Lista Roja, (continuación de tabla 13-3A).	79
TABLA 14-1:	Tipos de muestreo aplicados al monitoreo de las comunidades de corales hermatípicos.	84
TABLA 14-2:	Consideraciones para el uso de complots fijos y transectos al azar.	85
TABLA 15-1:	Especificaciones de los instrumentos oceanográficos utilizados de manera rutinaria en el monitoreo de la RMG.	106
TABLA 16-1	Tratamientos típicos para la anestesia, fijación y preservación de invertebrados.	121
TABLA 18-1:	Número de especies marinas en los principales grupos taxonómicos de Galápagos, después de Hickman (2009), ampliado y actualizado para incluir grupos adicionales hasta el 2013.	123
TABLA 18-2:	Información requerida para entregar especímenes en el museo.	124

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1-1:	Biogeografía de la RMG.	15
FIGURA 1-2:	Mapa del esquema consensuado de zonificación de la Reserva Marina de Galápagos luego del proceso de demarcación física y señalización costera oficial por el IGM, INOCAR, DPNG en el 2005-2006.	15
FIGURA 1-3:	Distribución del esfuerzo en el monitoreo submareal entre 1994-2014 a través de 1500 muestreos en 280 sitios.	16
FIGURA 1-4:	Esfuerzo de muestreo submareal en la zona costera (hasta 40 m de profundidad) entre los años 1994-2014 para cada grupo taxonómico principal.	17
FIGURA 1-5:	Escala espacial y temporal del aporte de la ciencia realizada en la RMG.	19
FIGURA 2-1:	Ejemplos de las contribuciones del monitoreo ecológico de la FCD a procesos de entendimiento, concientización y manejo de la RMG.	22
FIGURA 3-1:	Distribución de las agrupaciones de sitios seleccionados para el monitoreo ecológico submareal 2004-2014.	30
FIGURA 3-2:	Criterio aplicado para la selección de sitios diagnósticos para el periodo 2004-2014.	30
FIGURA 6-1:	Un transecto submareal típico para el censo visual de 50 m de largo.	46
FIGURA 7-1:	Un cuadrante de PVC con 81 puntos de intersección cada 5 cm en un área de 0.25 m ² .	47
FIGURA 7-2:	Posición del cuadrante a lo largo de la cinta.	48
FIGURA 7-3:	Ejemplo de una hoja de datos de campo para las especies invertebradas sésiles y algas.	49
FIGURA 7-4:	Cuadrante de PVC con sus respectivas estimaciones de abundancia por especie.	50
FIGURA 8-1:	Muestreo de peces demersales por 2 pasillos de 5 m x 50 m ² .	53
FIGURA 8-2:	Ejemplo de una hoja de datos de campo para peces y vertebrados marinos.	56
FIGURA 9-1:	Transecto de muestreo de macroinvertebrados móviles.	60
FIGURA 9-2:	Medidas para los macroinvertebrados móviles para los grupos principales (gasterópodos, erizos, estrellas del mar y holoturoidea).	61
FIGURA 9-3:	Ejemplo de hoja de datos para macroinvertebrados móviles tomado en el campo para las dos profundidades (15 m y 6 m).	61
FIGURA 10-1	Identificación y conteo de mesogastrópodos en el barco después del buceo para devolverlos al agua de inmediato.	61
FIGURA 11-1:	Sistema de estereovideo (DOVS) llevado para censos de peces pelágicos.	66
FIGURA 12-1:	Hábitats principales de la Reserva Marina de Galápagos y sus extensiones estimadas.	68
FIGURA 12-2:	Indicaciones para el mapeo de un hábitat en una profundidad fija (aquí a 15 m) con intervalos de 10 m y por perfiles verticales con intervalos de profundidad de 3 m.	71
FIGURA 13-1:	Ejemplos de tres especies presumidas extintas luego del evento de El Niño entre 1982 y 1983.	74
FIGURA 13-2:	Ejemplos de especies consideradas vulnerables, encontradas por búsquedas dirigidas durante el monitoreo ecológico 2004-2014.	74
FIGURA 13-3:	<i>Pocillopora Sp. blanqueado</i> al lado de <i>Pavona clavus</i> (flecha amarilla) demuestra la diferencia de vulnerabilidad a estrés termal entre especies de coral en el mismo arrecife.	75
FIGURA 13-4:	(A) Camas de macroalgas de kelp vulnerable <i>Eisenia galapagensis</i> que representa un hábitat complejo para muchas especies que fueron desplazadas con la llegada del erizo verde <i>Lytechinus</i> (B) en solo 5 meses en el 2007 (Oeste de Fernandina).	76
FIGURA 13-5:	Ejemplos de especies presentes en la RMG y consideradas potencialmente problemáticas por sus impactos en otras regiones y por su capacidad para alterar la estructura de las comunidades marinas.	80
FIGURA 14-1:	Reclutamiento de peces juveniles sobre <i>Pavona sp.</i> , Isla Wolf, Bahía Tiburón a 12m. Los arrecifes de corales suele ser sitios particularmente productivos.	83
FIGURA 14-2:	Buzos toman puntos de intersección para cada colonias que evalúan (B) Una parcela fija para el monitoreo de corales con 3 tramos de 10m en 3 secciones, todo en una sola profundidad (normalmente 15m y 6m)	83
FIGURA 14-3:	Estimación del porcentaje de mortalidad en la superficie de un coral.	86
FIGURA 14-4:	Mediciones típicas sobre una colonia masiva de coral. Medida de diámetro entre los puntos más alejanos de la colonia y altura desde la cima hasta la base. Para corales incrustantes este puede ser no más que 0.5cm o hasta 7-8m en las colonias más grandes.	87
FIGURA 14-5:	Ejemplos de blanqueamiento de los corales por choques extremos de agua cálida durante eventos fuertes de El Niño y por choques de agua fría durante eventos de La Niña	87

FIGURA 14-6: Guía visual a las condiciones de corales registrados: DTTS= Discoloration Tissue Thinning Syndrome; TRM= Trematodiasis; UD= Uncharacterized Disease; GA= Abnormal Growth; WB= White Band; WRBS= white band, ring or spot (según Vera & Banks 2008).	88
FIGURA 14-7: Ejemplo de una hoja de datos tomado entre una pareja de buzos realizando mediciones de corales por transectos de intersección.	90
FIGURA 15-1: Localización del arreglo instrumental oceanográfico TAO - TRITON y delimitación aproximada de regiones de análisis de El Niño.	92
FIGURA 15-2: Series de tiempo de los índices Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), El Niño - Oscilación del Sur (ONI), y anomalías de temperatura superficial del mar en la estación meteorológica de la ECCD, Isla Santa Cruz FCD.	93
FIGURA 15-3: Superficies de clima marino de Galápagos (temperatura superficial del mar) A: anomalías de agua fría; B: anomalías de la agua caliente; C: rango en anomalías medias, calculada a partir de 5 años de datos mensuales.	95
FIGURA 15-4: Desarrollo de modelos de circulación oceánica.	97
FIGURA 15-5: Mapeo de alta resolución del área noroeste de la RMG, con capas simultáneas de batimetría y sonar (<i>side-scan</i>) que caracterizan el sustrato profundo.	98
FIGURA 15-6: Preparación del equipo CTD dentro de una juala de acero inoxidable para su protección con sensores ISUS para medición de nitratos y fluorímetro WetLabs (clorofila a), en el laboratorio marino de la FCD.	98
FIGURA 15-7: Un instrumento HyperSAS montado en la proa del M/N Sierra Negra. Mientras se acerca a la Isla Wolf toma perfiles hiperespectrales de la radiación E-M del agua.	100
FIGURA 15-8: Cobertura de muestreo oceanográfico <i>in situ</i> 2005-2010.	101
FIGURA 15-9: Preparación y recuperación de boyas oceanográficas submareales para la limpieza y reprogramación de instrumentos.	102
FIGURA 15-10: Programación, preparación y colocación de los <i>loggers</i> de temperatura.	104
FIGURA 15-11: Un ejemplo de un mapa preparado como ayuda de memoria para reencontrar una estación fija submareal de temperatura instalada a 10 m y 20 m de profundidad en la costa de Isabela.	105
FIGURA 15-12: Perfiles verticales de temperatura, salinidad y fluorescencia de la clorofila-a en dos sitios (El Muñeco y la mitad del Canal Bolívar, en Isla Isabela).	107
FIGURA 15-13: (A) Medidor de flujo instalado en la boca de una red de plancton; (B) Red cónica de zooplancton con malla de 335 um o 100 um; (C) Red cónica de fitoplancton con malla de 20 um.	108
FIGURA 15-14: (A) Red de bongo en la superficie; (B) Red de neuston, utilizada para coleccionar organismos que flotan en la superficie o directamente bajo ella, como algunos tipos de larvas de peces y medusas.	107
FIGURA 15-15: La red de bongo también puede ser manejada por buzos en rastreos submarinos al nivel de comunidades bentónicas.	108
FIGURA 15-16: Ejemplos de zooplancton registrados en el laboratorio.	111
FIGURA 16-1: La construcción de un fotocadrante depende mucho del tipo de lente para una captura con una resolución alta que facilite la identificación en las imágenes.	113
FIGURA 16-2: Una cámara con lente Fisheye también tiene aplicaciones para caracterizar hábitats pero es necesario corregir el efecto de distorsión.	113
FIGURA 16-3: (A) Ejemplo de un cuadrante fotográfico con proyección sobre una cuadrícula para el análisis y la estimación de la abundancia de especie y (B) el muestreo con puntos al azar utilizando el programa CPCE.	114
FIGURA 16-4: Software para la manipulación de imágenes puede corregir la distorsión de imágenes causada por los lentes de las cámaras con la pérdida de nitidez en los bordes.	114
FIGURA 16-5: Imágenes de alta definición (cortesía de la operación del M/V Octopus) coleccionadas por el vehículo remoto de exploración (ROV) a 1500 m en el 2005.	116
FIGURA 16-6: Imagen de alta definición de comunidades hidrotermales en el sitio 'Iguanas' ubicado en el Dorsal de Galápagos (<i>Galápagos Spreading Centre</i>) tomados por un vehículo remoto de exploración (ROV) a 1670 m en el 2010.	116
FIGURA 16-7: Zonas de interés por inmersiones exploratorias con VOR hasta 2500 m de profundidad.	117
FIGURA 16-8: Un monte submarino de 50 km de largo ubicado al sur de la Isla Marchena tiene una batimetría de 2000 m en su base hasta 800 m sobre su plataforma.	118
FIGURA 18-1: Ejemplos de las colecciones marinas incluyendo organismos secados, preparaciones de partes de organismos que son diagnósticos para la identificación (como los otolitos de peces) y organismos preservados en solución de alcohol.	123
FIGURA 19-1: La Base de Datos Ecológica Submareal Remota. La base de datos de campo fue diseñada para asegurar el ingreso de datos durante los viajes al campo de buceo y está vinculada con la Base de Especies y Colecciones de la FCD.	130



Nudibranquio nadador, *Glaucus Sp.* (Imagen: A.Chiriboga)



Arco de Darwin (Imagen: R. Gallardo)

ANTECEDENTES

1

Las islas Galápagos se encuentran localizadas en la confluencia de tres corrientes oceánicas principales cuya fuerza y extensión varían espacial y temporalmente, influenciadas por procesos oceanográficos que operan desde la escala de la cuenca del Pacífico hasta escalas locales de pocos kilómetros (Banks 2003). La extensión del archipiélago –138 000 km² en la Reserva Marina de Galápagos (RMG)– y la influencia y naturaleza de cada una de estas corrientes generan cierta conectividad con otras provincias biológicas como el Indo-Pacífico, Panamá y Perú-Chile, pero también barreras espaciales que han permitido el aislamiento y evolución de comunidades marinas discretas (figura 1-1). Tales diferencias permiten dividir el archipiélago en regiones biogeográficas separadas por su afinidad y origen (Wellington 1975, Jennings et al. 1994, Bustamante et al. 2003, Edgar et al. 2004).

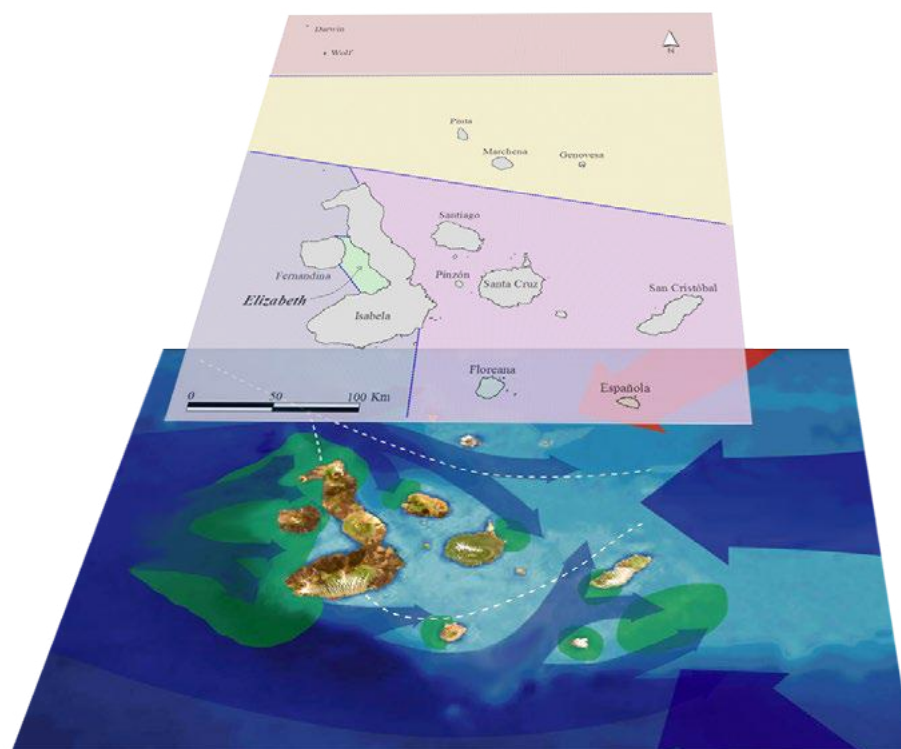
Los procesos biológicos como la depredación, la herbivoría y la competencia (los cuales en la actualidad han sido estudiados por relativamente pocos grupos taxonómicos en Galápagos) ejercen su efecto en la estructuración de las comunidades, particularmente a escala local, y su influencia depende en gran medida de los procesos oceanográficos a gran escala (Wellington 1975, Vinuela 2006, Witman y Smith 2003).

Sin embargo, el grado de complejidad ecológica y el estado actual de las comunidades submareales (su distribución y estabilidad en el tiempo) son el resultado de una multitud de interacciones entre las especies y su ambiente. Tales interacciones están influenciadas por perturbaciones, las cuales exigen presiones sobre componentes y procesos del ecosistema. Si las perturbaciones son persistentes o de gran magnitud, el resultado puede terminar en una reestructuración de las comunidades cambiando el funcionamiento y las tasas de diversidad. Entre las perturbaciones más impactante de origen natural se encuentra el ciclo de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), el cual ha esculpido el entorno natural de las islas por miles de años. Otros factores de décadas más recientes provienen del aumento del uso antropogénico de la zona costera. En realidad, es la interacción entre diferentes factores –como cambios abruptos de clima, escenarios de extracción pesquera, el ingreso de especies invasoras facilitado por el hombre y la amplia gama de modalidades de uso costero– que deben ser comprendidos mejor para el adecuado manejo y conservación de la RMG.

"2.1 Proteger y conservar los ecosistemas marino-costeros y su diversidad biológica para el beneficio de la humanidad, la población local, la ciencia y la educación".

Plan de manejo de la Reserva Marina de Galápagos (DPNG) 1999

Figura 1-1: Biogeografía de la RMG. El estudio de la composición de las comunidades y los regímenes oceanográficos ha llevado a una mejor comprensión de la distribución de especies de la RMG en los últimos 40 años (arriba según Edgar 2004) y a una mejor descripción de las corrientes que influyen en el archipiélago (fuente Banks et al. 2012).



Además de la variación espacial existente, los marcados cambios oceanográficos entre las estaciones fría y caliente y la presencia de anomalías climáticas a gran escala como El Niño, asociadas con las altas temperaturas y los bajos niveles de nutrientes, han provocado reducciones en el número de especies presentes. Muchos efectos han sido dramáticos a lo largo de toda la cadena trófica, como los observados durante los últimos eventos de El Niño de 1982-1983 y de 1997-1998 (Glynn 1990, Banks et al. 2011). El estado de los ambientes marinos en Galápagos se ha visto afectado por la aparición y el posterior desarrollo (y colapso) de pesquerías de "rápida ganancia" como el pepino, así como de pesquerías más rentables en el tiempo como la langosta y la pesca blanca.

Otros impactos son más indirectos y están ligados al aumento de la accesibilidad (apertura geográfica) entre las Islas y el resto del mundo (Grenier 2010, Edgar et al, 2008, 2009). El mercado emergente de turismo basado en la naturaleza, por ejemplo, es hoy en día el principal motor económico y sigue promoviendo el desarrollo en las áreas pobladas de las Islas. A pesar de que el área ocupada por la población solo representa un 3% de la provincia, con más de 25 000 residentes en el censo nacional del 2010, las actividades productivas extienden una huella más amplia en el área protegida de la RMG que además se alimenta de un flujo continuo de visitantes. En el 2013, más de 200 000 turistas (incluyendo modalidades de visita terrestre y navegable) llegaron a las islas, aumentando en un 13% con relación al año anterior (DPNG, 2014). Como consecuencia, los efectos sobre los sistemas naturales varían según la naturaleza e intensidad de las actividades realizadas (navegación, pesca, ciencia, buceo recreativo, etc.), al nivel de acoplamiento del usuario a las normativas de manejo vigentes y a la eficacia de dichas medidas.

El nivel de riesgo para las metas de conservación de la RMG, así como de sus servicios ecosistémicos de importancia para el ser humano (ej. stocks pesqueros viables y seguridad alimentaria, oferta turística con base en la naturaleza, etc.) dependen de la combinación de estas influencias antropogénicas (grado de sostenibilidad de las pesquerías locales en el tiempo, contaminación en zonas portuarias o invasiones de especies marinas exóticas por el tráfico marítimo) y de las perturbaciones por cambios naturales climáticos. Dichos factores han tenido una influencia negativa en el funcionamiento de los ecosistemas marinos en todo del mundo y su efecto ya se empieza a sentir en Galápagos desde la década de los 90 (Ruttenberg 2001, Edgar et al. 2009).

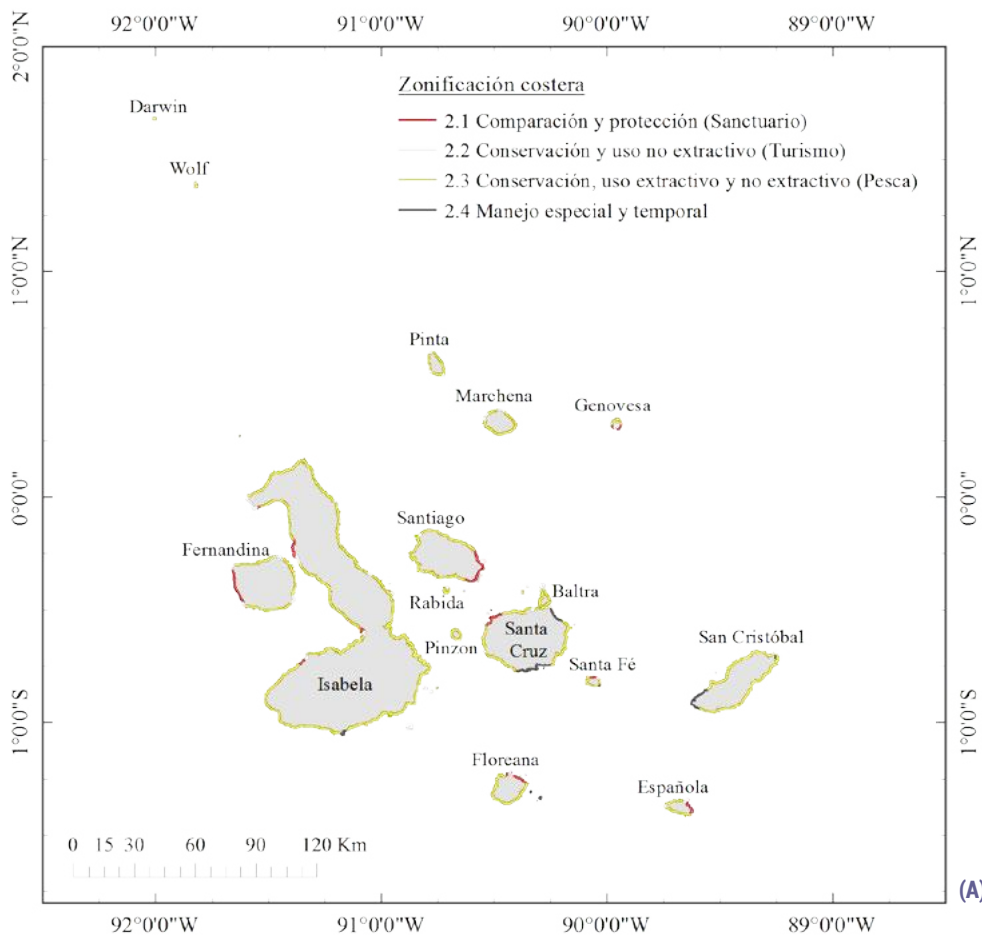
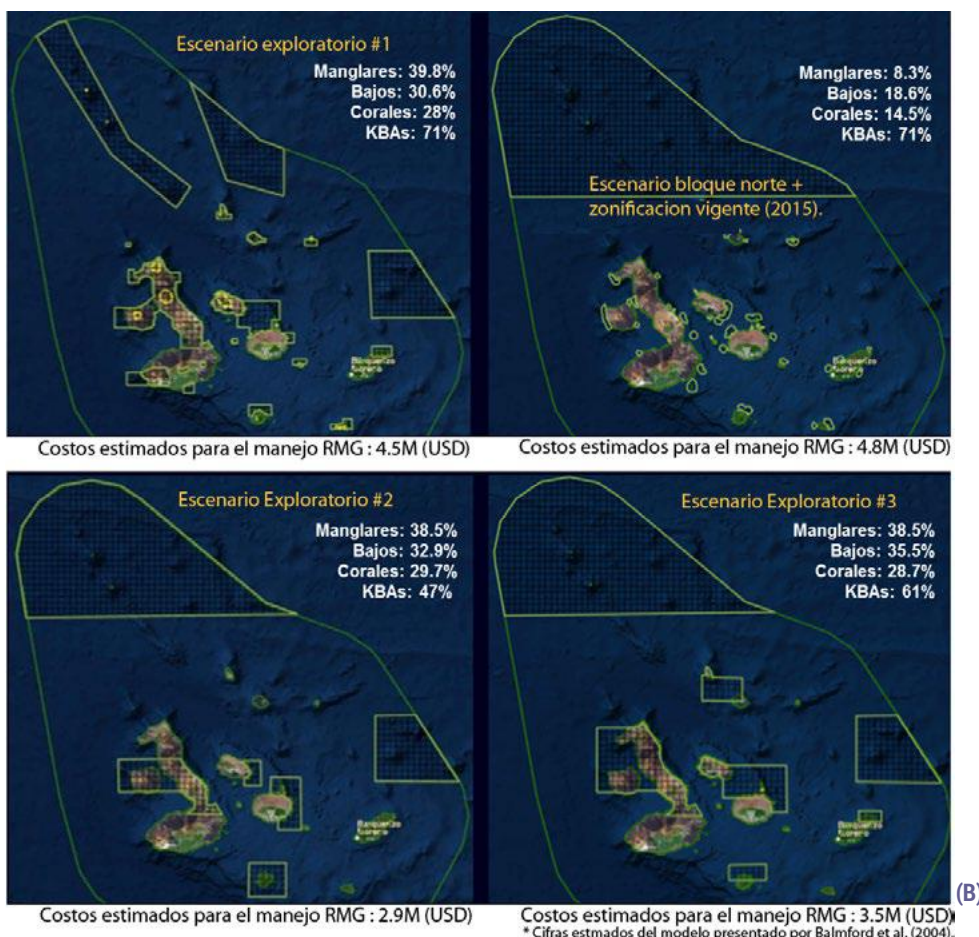


Figura 1-2: (A) Mapa del esquema consensuado de zonificación de la Reserva Marina de Galápagos luego del proceso de demarcación física y señalización costera oficial por el IGM, INOCAR, DPNG en el 2005-2006. El esquema de colores refleja la señalización en la costa según la normativa de la Armada del Ecuador.

(B) Desde el 2014, dicho esquema de zonificación está bajo evaluación para integrar mejoras en el manejo del espacio marino, costero y terrestre. Nuevos ajustes al anterior abarcan las aguas abiertas, integran la zona costera y el espacio terrestre e introducen una nomenclatura común basada en servicios y bienes ecosistémicos bajo el marco del Plan del Manejo de la DPNG. Estos mapas ejemplos de escenarios exploratorios fueron trabajos iniciales que formaron parte de la búsqueda de mejoras en el esquema actual para optimizar un uso sostenible que minimice la vulnerabilidad socio-ecológica de la RMG (Obregon et al. 2016). El proceso durante el 2015 y 2016 utiliza varias herramientas participativas y consultivas de planificación espacial (como SeaSketch, www.seasketch.org) y análisis de costo-beneficio (tradeoff en inglés) para acercar a una ordenación de usos que cumple mejor con las metas establecidas en el Plan de Manejo de Buen Vivir del DPNG. KBA o Key Biodiversity Areas significa áreas considerados claves por sostener niveles altos de endemismo y biodiversidad según Edgar et al. (2004). Ha sido evaluado para integrar el manejo del espacio marino, costero y terrestre en el 2016.



En el pasado, el manejo de los recursos en Galápagos, al igual que en otras partes del mundo, se realizaba con un enfoque dirigido solamente a especies de interés; con base en cuotas, tallas mínimas de captura, períodos de veda para estadios reproductivos y artes de pesca. Sin embargo, dicho esquema no ha sido muy efectivo en la protección de los recursos. En parte, debido a la falta de reconocimiento de 'cuellos de botella' en los procesos que entorpecen una gestión pesquera sostenible (y rentable según las expectativas del sector), además del incumplimiento de las regulaciones bajo las presiones asociadas. Pero también, debido a la falta de una información que respalde un manejo holístico y multispecífico que considere el entorno en el cual habitan los recursos y el efecto que su extracción tiene sobre su medio (Castrejón & Charles, 2013).

En 1998 se establece la Reserva Marina de Galápagos con el propósito de lograr la conservación y protección de la biodiversidad marina, garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas y normar y regular las actividades humanas (Dirección del Parque Nacional Galápagos & Fundación Charles Darwin, 1999). La propuesta original de zonificación se basó en la creación de diferentes subzonas de manejo costero, diseñadas para separar los usos no compatibles y, a su vez, garantizar la protección de la biodiversidad marina mediante una adecuada representación de las zonas no extractivas dentro de las diferentes regiones y hábitats existentes en el archipiélago.

Sin embargo, al momento de asignar dichas zonas se disponía de muy poca información sobre los patrones de abundancia y distribución del hábitat y de las especies. La primera redacción del esquema de zonificación (figura 1-2) refleja las necesidades y compromisos negociados por cada sector de usuarios (guías naturalistas, turismo, pesca artesanal, ciencia y conservación). Por lo tanto, fue prioritario establecer una línea base de biodiversidad para poder guiar de mejor manera la zonificación y, con base en esta información, establecer prioridades de conservación al identificar zonas sensibles y hábitats representativos de la RMG de alta biodiversidad y endemismo, reevaluando así las regiones biogeográficas propuestas por Harris (1966). Desde entonces, se desarrolló una serie de campañas para levantar datos de campo con el afán de caracterizar las comunidades submareales y entender mejor la manera en que estas cambian en el tiempo y el espacio (figuras 1-3 y 1-4).

Figura 1-3: Distribución del esfuerzo en el monitoreo submareal entre 1994 y el 2014 a través de 1500 muestreos en 280 sitios. La altura de las barras indica los sitios repetidos entre diferentes campañas de campo. Los puntos rojos indican sitios utilizados para caracterizar la biogeografía (línea base), mientras los sitios con barras amarillas-azules indican sitios de diagnósticos elegidos para seguir cambios en el tiempo.

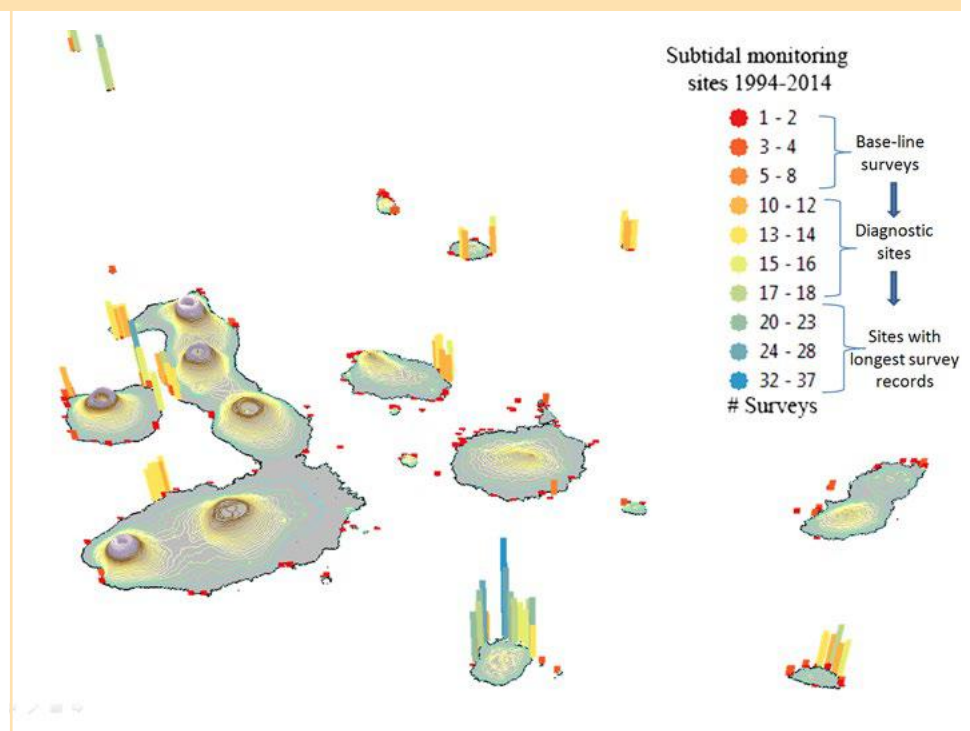
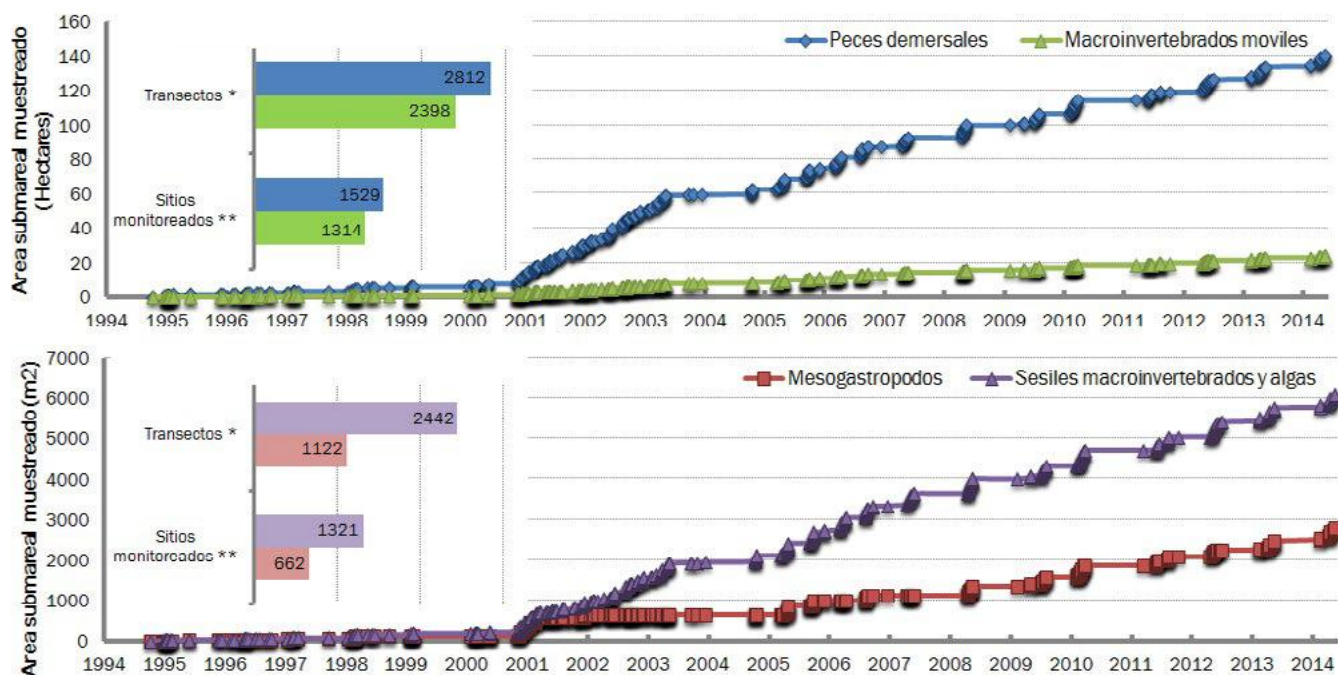


Figura 1-4: Esfuerzo de muestreo submareal en la zona costera (hasta 40 m de profundidad) entre 1994 y 2014 para cada grupo principal taxonómico. Los transectos (*) son tramos de 50 m típicamente ubicados a 6 m y 15 m de profundidad en cada sitio monitoreado (**). El total de sitios monitoreados (**) incluyen repeticiones entre estaciones y años. Figura 1-3 demuestra la frecuencia y distribución del esfuerzo de monitoreo.



Previo al diseño de cualquier tipo de monitoreo, fue necesario entender la distribución de las especies en el espacio para asegurar la comprensión de la variabilidad y diversidad de ambientes y comunidades en la RMG. El estudio de línea base inició en mayo del 2000 y culminó en diciembre del 2001 con el monitoreo de 200 sitios aproximadamente. Los monitoreos se realizaron sobre fondos rocosos, en parte porque este es el tipo de fondo marino más representativo alrededor de las islas (>80% hasta 40 m de profundidad), pero también porque constituye el hábitat principal para la mayoría de especies de explotación pesquera (ej. pepinos de mar, langostas y bacalao) y de atracción turística (ej. lobos marinos, tiburones, pingüinos e iguanas).

El documento Línea Base (Danulat y Edgar 2002), describe los patrones de abundancia y distribución de especies, con una redefinición de las regiones biogeográficas propuestas por Harris (ver Bustamante et al. 2002 y Edgar et al. 2004). Este documento constituye una herramienta útil para el manejo al identificar áreas sensibles altamente diversas o con un alto porcentaje de endemismo. Como su nombre lo indica, dicho documento constituye el punto de partida para poder evaluar la respuesta de las comunidades submareales frente al esquema actual de zonificación. Los censos submareales de la RMG llevados por la FCD-Biomar, tras los primeros ensayos y registros de la diversidad marina (1994-2000) para el Plan de Manejo de 1999, fueron reevaluados en los años 2001 y 2004 para convertirse en un componente de monitoreo y en parte del Sistema de Comanejo de la RMG (Banks et al. 2006; 2007; 2010; 2011; 2012;).

Al momento de demarcar físicamente las subzonas de manejo en la costa (pesca permitida, turismo regulado y protección), una comisión técnica conformada por la Junta de Manejo Participativo acordó en octubre del 2004, un mínimo de 64 sitios diagnósticos por agrupaciones entre subzonas de manejo dentro de las regiones biogeográficas de la RMG. Este fue un proceso con múltiples actores, liderado por la DPNG y la FCD con varios grupos de expertos nacionales e internacionales (descrito en mayor detalle en el Informe final US-AID al DPNG, Banks et al. 2006; 2010, y el Informe Galápagos 2011-2012 por Luna et al. 2013). Después del 2006, la FCD realizó la búsqueda de recursos financieros para mantener el monitoreo con un costo de entre USD 60 000 a USD 80 000 por año.



Estrella de mar *Heliaster cumingi* y *Ophioblennius steindachner* (Imagen: M. Vera)

A partir de octubre del 2004, se inició el censo anual, realizado en aproximadamente 22 días de buceo en el campo (entre febrero y junio). Como parte de la rutina se registran las distribuciones de más de 500 especies submareales costeras a través de los sitios elegidos por estudios de la Línea Base de la RMG entre el 2000 y el 2004, aprobados por la JMP con el proceso descrito en Banks et al. (2006). Al principio, los monitoreos de biodiversidad se concentraron en tres grupos taxonómicos: peces demersales, principalmente; invertebrados móviles; y organismos sésiles; todos ellos expuestos a la superficie externa de la roca y dentro del rango de visibilidad de los buzos. Dada la necesidad de entender los factores explicativos que condicionan la biología, después del 2004 agregamos otros tipos de monitoreo utilizando y probando diversos métodos: oceanográfico, plancton, mesogastrópodos, pelágicos, mapeo vertical de hábitat, parcelas fijas de corales y algas, y búsquedas dirigidas a especies comunes potencialmente invasoras y amenazadas. Para entender mejor la variabilidad a través de los años, varios proyectos se han enfocado en diferentes escalas en tiempo y espacio (figura 1-5).

El esfuerzo de muestreo para caracterizar las comunidades por cada grupo ha sido considerable. Suma más de 7600 transectos de 50 m de largo estudiados por los buzos científicos durante el periodo 1994-2014. Tal esfuerzo equivale a un total de ~380 km, donde se han realizado los censos submareales.



Trambollo triple aleta, *Lepidonectes corallicola* (Imagen: M. Vera)

El esfuerzo de muestreo para caracterizar las comunidades por cada grupo ha sido considerable. Suma más de 7600 transectos de 50 m de largo estudiados por los buzos científicos durante el periodo 1994-2014. Tal esfuerzo equivale a un total de ~380 km, donde se han realizado los censos submareales (para tener una idea más clara, equivale a bucear 4 veces, ida y vuelta, desde Santa Cruz a Floreana) y es un desafío compartido y mantenido por más de 70 científicos marinos desde 1994. En términos de tiempo bajo el agua, representa más de 4500 horas de buzo. No obstante, para poner en perspectiva el reto que supone el monitoreo, a pesar de la altísima inversión en términos de cobertura, todos los esfuerzos representan <1% de la extensión de la costa de las islas. Tomando en cuenta que la logística de buceo y navegación requerida normalmente está sujeta a limitaciones presupuestarias, es importante asegurar que un monitoreo cuente con un diseño experimental que pueda responder a preguntas claras y concisas. Este incluye consideraciones de escala (espacio y tiempo) y representatividad en el diseño (especies claves, hábitats, procesos de interés, etc), además de proveer el poder estadístico para sustentar las conclusiones.

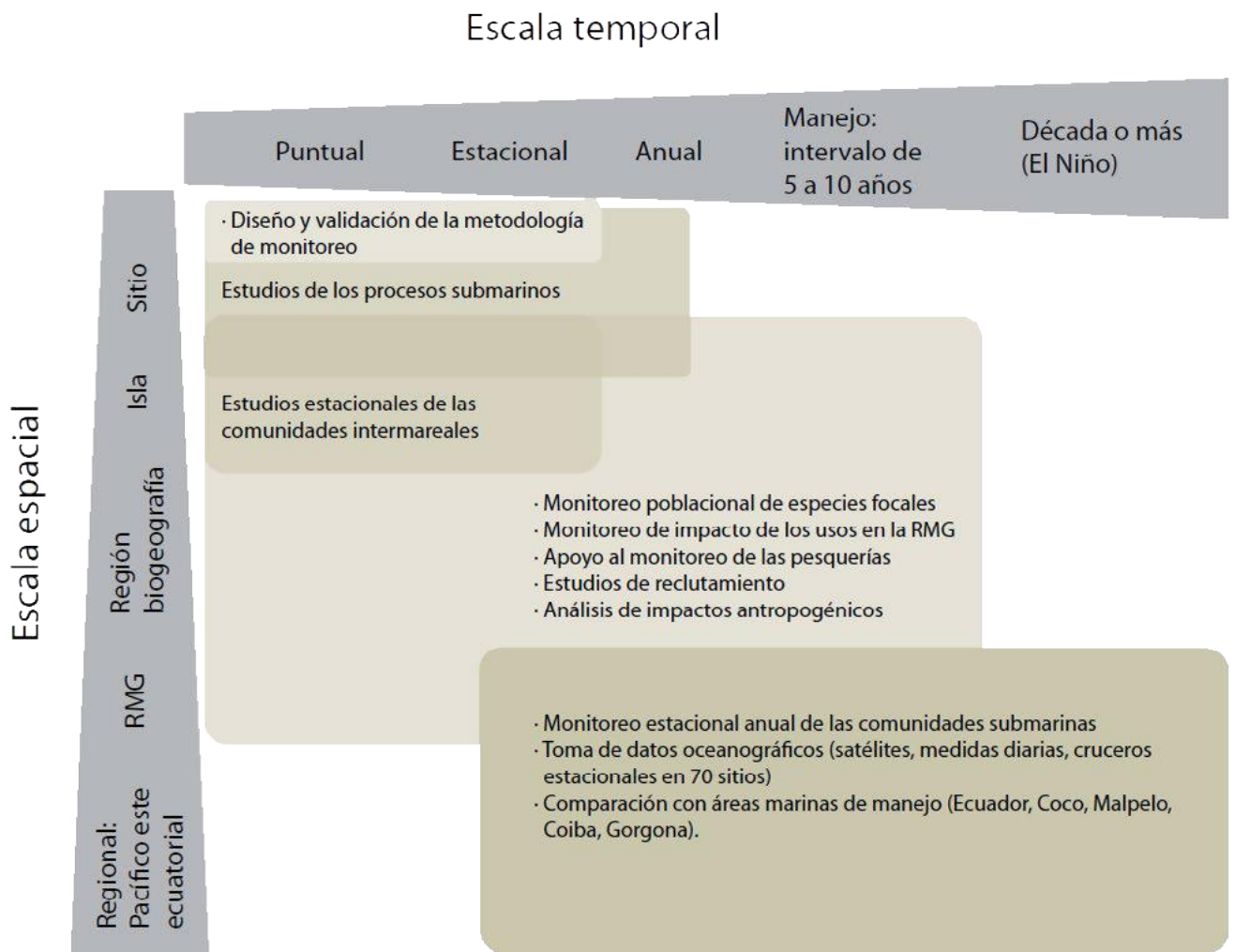
El monitoreo se enfoca en el arrecife rocoso que domina >80% del hábitat submareal a menos de 40 m, el cual es la zona con mayor exposición a interacciones con usuarios de la RMG.

A pesar de que está descrito con mayor detalle en este mismo manual, vale la pena resumir brevemente el trabajo de campo. Este está conformado por un grupo núcleo de buzos técnicos (3-6 personas), normalmente de la FCD, más el/la oficial para la logística y seguridad del buceo científico (1-2 personas). Más de la mitad del grupo está compuesto por miembros de la comunidad local, y por lo general, cada salida involucra una rotación de entre 1 a 3 voluntarios y estudiantes locales.

Dos equipos de buzos trabajan replicando muestras por sitio a 2 niveles de profundidad estándar (15 m y 6 m). Cada bloque de muestra por profundidad está basado en un censo visual calibrado entre observadores sobre una extensión lateral de 50 m.

El monitoreo se enfoca en el arrecife rocoso que domina >80% del hábitat submareal a menos de 40 m, lo cual es la zona con mayor exposición a interacciones con usuarios de la RMG. Dos equipos de buzos trabajan replicando muestras por sitio a 2 niveles de profundidad estándar (15 m y 6 m). Cada bloque de muestra por

Figura 1-5: Escala espacial y temporal del aporte de la ciencia realizada en la RMG (Banks et al., 2012).



profundidad está basado en un censo visual calibrado entre observadores sobre una extensión lateral de 50 m. Cada grupo de buzos entrenados y especialistas en grupos taxonómicos toman datos de diversidad, abundancia, peces de arrecifes por tallas (2 x 250 m²), macroinvertebrados móviles (20 x 5 m²), cobertura de organismos sésiles por cuadrantes con puntos de intercepción (10 x 81 puntos en 0.25 m²) y mesogastrópodos <2cm de largo (10 x 0.25 m²). Al mismo tiempo, todos los observadores tienen la oportunidad de registrar especies o avistamientos novedosos o relevantes.

Desde el 2004, los métodos de censo visual desarrollados en Galápagos han sido mejorados y aplicados a monitoreos comparables dentro de otras reservas nuevas en Ecuador, al nivel del Pacífico Este Tropical (PET).

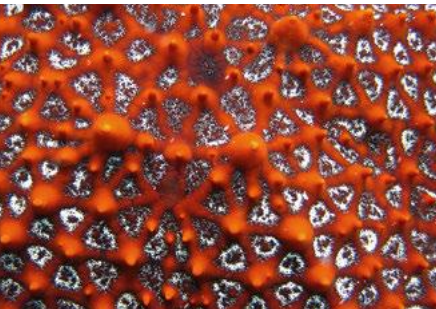
El perfil de buceo que se aplica está diseñado para reducir en lo posible la probabilidad de problemas de acumulación de nitrógeno y se cuenta con un oficial de seguridad antes, durante y después de los trabajos. Desde el 2004, los métodos de censo visual desarrollados en Galápagos han sido mejorados y aplicados a monitoreos comparables dentro de otras reservas nuevas en Ecuador, al nivel del Pacífico Este Tropical (PET) mundial, e incluso adaptados para programas complementarios de ciencia ciudadana marina (Edgar et al 2014).



Nudibranquio, *Tambja mullineri*
(Imagen: R. Gallardo)



Caballo de mar, *Hippocampus ingens*
(Imagen: R. Gallardo)



Estrella de mar, *Pentaceraster cumingi*
(Imagen: R. Gallardo)

En el monitoreo se aplican fotocuadrantes en una selección limitada de sitios de parcelas fijas y se realizan perfiles oceanográficos con el instrumento CTD (conductividad-temperatura-profundidad) y toma de plancton (red 335 um) para caracterizar las condiciones particulares asociadas con cada muestreo. Los datos satelitales sobre temperatura, productividad y otros factores, se analizan por separado para averiguar cambios climáticos en la superficie de la región de la RMG, en conjunto con los registros detallados de series de tiempo recopilados en las estaciones oceanográficas instaladas en Wolf, Fernandina y en la Estación Meteorológica de la ECCD en Santa Cruz.

El diseño del estudio permite caracterizar detalladamente comunidades enteras que incluyen especies claves categorizadas (ej. especies metas para pesqueras, especies de interés para el turismo, formadores e ingenieros de hábitats, indicadores, etc.). Asimismo, nos permite averiguar índices más informativos sobre la estructura y la configuración de las comunidades bajo sus regímenes ambientales. Estos índices comunitarios, en combinación con estimaciones de biomasa y observaciones de comportamiento recopilados en otros estudios (rasgos funcionales o *functional traits and behaviors*), nos informan más sobre las funciones ecosistémicas y procesos ecológicos y brindan estimaciones más contundentes sobre los elementos que juegan un papel importante en la resiliencia frente a una posible degradación.

La dinámica del ensamblaje de especies con diferentes proporciones relativas de abundancia y biomasa es lo que afecta a las mismas especies claves, tradicionalmente monitoreadas de manera aislada. Este tipo de monitoreo incluye información sobre la estructura poblacional que complementa otros estudios para las especies que consideramos prioridades de conservación; pero también reconoce que lo que define un ecosistema como complejo es la suma de las conexiones y el condicionamiento, y que la sobrevivencia de muchas especies en peligro depende, en gran medida, de las dependencias y la competencia con diferentes niveles de fuerza y conectividad entre otras partes del sistema.

Los insumos para evaluar los aspectos del diseño de un área protegida marina bajo un régimen sostenido de manejo, normalmente se consideran más útiles (con patrones más confiables y evidentes) tras décadas de recopilación de datos. Esto es, en parte, por la necesidad de capturar de una mejor forma el rango de variabilidad biológica natural y la respuesta de comunidades frente de eventos muy cálidos o fríos como El Niño y La Niña; y por la evaluación de tendencias vinculadas con el ciclo de manejo, niveles de extracción pesquera y otras actividades antropogénicas (directas e indirectas). Los trabajos para caracterizar la RMG han dado como resultado una base de 10 años de datos colectados de forma sistemática desde el 2004 con puntos de referencia desde 1994 hasta el 2000 y una línea base de la RMG comprensiva llevada a cabo en el 2001. La figura 1-4 muestra el esfuerzo del muestreo por grupo, monitoreado desde los primeros registros submareales 1994-2014.

A pesar de que un diseño experimental debe variar de acuerdo con las preguntas, los métodos descritos de los censos visuales de las comunidades submareales principales ofrecen datos comparables con el tiempo. El afán por mantener una consistencia entre años de datos levantados durante estos monitoreos ha sido la razón fundamental por la cual se ha creado esta guía.

Coral solitario de copa, *Tubastraea coccinea* (Imagen: R. Gallardo)





Tiburón tintorera, *Triaenodon obesus* (Imagen: R. Gallardo)

OBJETIVOS DEL MONITOREO SUBMAREAL

2

El objetivo principal del programa de monitoreo ecológico 1997-2014, fue brindar información sobre el estado de la biota asociada a los fondos rocosos duros y determinar la naturaleza y magnitud de sus fluctuaciones a través del tiempo y el espacio.

Ahora, el reto es evaluar la respuesta biológica frente a los factores ambientales y antropogénicos mediante el seguimiento e investigación a largo plazo de la biodiversidad, la composición y el funcionamiento de los sistemas marino-costeros. La línea base y el monitoreo fueron creados y mantenidos para brindar información relevante para un mejor entendimiento y conservación de la RMG.

"Incrementar e incorporar el conocimiento científico interdisciplinario sobre los ecosistemas y la biodiversidad de Galápagos, particularmente dirigido a la caracterización de los procesos biofísicos esenciales que determinan su integridad ecológica y resiliencia con especial referencia a su capacidad de generar servicios para el Buen Vivir de la sociedad."

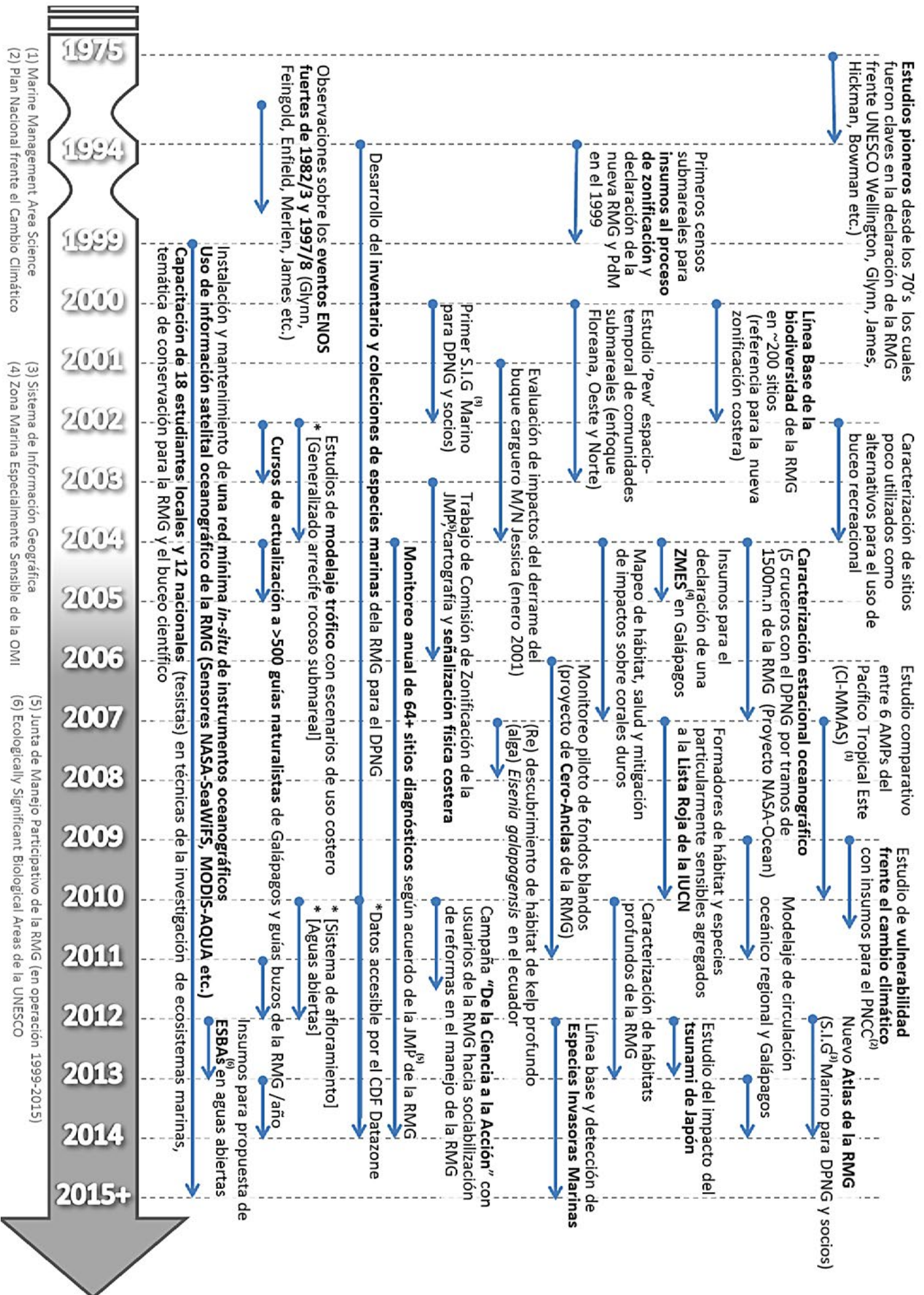
Plan de Manejo del DPNG 2006 (sec. 5.1)

Este propósito sigue los lineamientos descritos originalmente en el Plan de Manejo de la RMG 1999 –el mismo que constituía un deber de la ECCD en aquel tiempo– y ha sido adaptado en revisiones posteriores para responder a nuevas inquietudes y cuestiones de manejo en la zona submareal de la reserva. Desde el 2006 se produjo un proceso de reforma al Plan de Manejo del DPNG con la finalidad de unir la normativa entre los ámbitos terrestre y marino, además de cambiar el enfoque del marco de manejo hacia un manejo ecosistémico más holístico, y de conservar hábitats y servicios ecosistémicos por su importancia para mantener el buen vivir de la comunidad local y nacional. La información levantada por técnicos de la ECCD desde 1994 ha sido aplicada en múltiples foros en la formulación de propuestas y en la posterior evaluación del sistema de zonas de manejo y estimaciones de riesgo para la RMG (ver figura 2-1).

"Promover el funcionamiento de un sistema de manejo adaptativo y participativo del Parque Nacional y de la Reserva Marina, en el que se utilice el mejor conocimiento científico disponible para la toma de decisiones, de forma que se puedan realizar ajustes a los objetivos de manejo de acuerdo con la realidad socioeconómica y ambiental del archipiélago".

**Resolución No. 0046
Estatuto Orgánico de Gestión
Organizacional por
Procesos DPNG**

Figura 2-1: Ejemplos de las contribuciones del monitoreo ecológico de la FCD a procesos de entendimiento, concientización y manejo de la RMG.



(1) Marine Management Area Science
(2) Plan Nacional frente el Cambio Climático

(3) Sistema de Información Geográfica
(4) Zona Marina Especialmente Sensible de la OMI

(5) Junta de Manejo Participativo de la RMG (en operación 1999-2015)
(6) Ecologically Significant Biological Areas de la UNESCO

Caracterización de sistemas biofísicos de la Reserva Marina en el espacio y tiempo, sujeta a los regímenes de uso humano

Abarcando 133 000 km² de aguas abiertas y unos 1670 km de costa, la RMG está sujeta a algunas de las más fuertes perturbaciones climáticas en el mundo y, como sugiere su nombramiento como Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO 'Hombre y Reserva de la Biosfera', alberga una población humana de un tamaño considerable que convive con el área manejada. Está implícito que los usuarios de la RMG interactúan diariamente en la zona protegida con los responsables del manejo del lugar, residentes y turistas. Dadas las condiciones, las influencias pueden ser directas, indirectas, puntuales o crónicas. Un evento puntual que requiere información referencial podría ser un derrame de petróleo como lo ocurrido con el M/N Jessica en el 2001. Tendencias a lo largo del tiempo incluyen ejemplos como la dinámica de las temporadas de pesca, la recuperación del lecho de mar por el uso de anclas fijas o el efecto de un régimen de manejo, como la zonificación costera sobre escalas que varían de años a décadas.

El ofrecer un respaldo a los servicios valorados que brinda el ecosistema, depende tanto de la protección de la estructura y función de los ecosistemas como de la comprensión biofísica, social e institucional de sus vínculos internos y externos. A pesar de que los primeros programas de la FCD en ciencias naturales se enfocaron en especies emblemáticas, la gestión de la ciencia marina desde los 90 demandó un enfoque más holístico y dio lugar a una línea de investigación basada en el ecosistema. El levantamiento de información inicial se ha concentrado en la caracterización de las comunidades submareales con atención en los patrones de clima, oceanografía, ambiente productivo, rol funcional de las especies, hábitats, dependencias y procesos ecológicos de mayor importancia para la pesca artesanal, el turismo, la ciencia y la educación.

En los últimos años, la línea base biológica sigue siendo complementada con información sobre escenarios para una economía sostenible y una cierta calidad de vida o 'buen vivir'. En este sentido, el trabajo interdisciplinario entre grupos de investigadores en ciencias naturales y sociales es clave para brindar relevancia y contexto entre el recurso y el usuario. De la misma manera, es fundamental proveer puentes de acceso a la información para las instituciones públicas, lo cual beneficia el fortalecimiento institucional y el manejo de la RMG respaldado con conocimiento. A pesar del progreso en la investigación desde la década del 70, es un gran desafío el caracterizar y monitorear los sistemas naturales, los servicios ambientales que proporcionan y los índices de la huella humana, en relación con la escala de la reserva y las necesidades de sus usuarios.

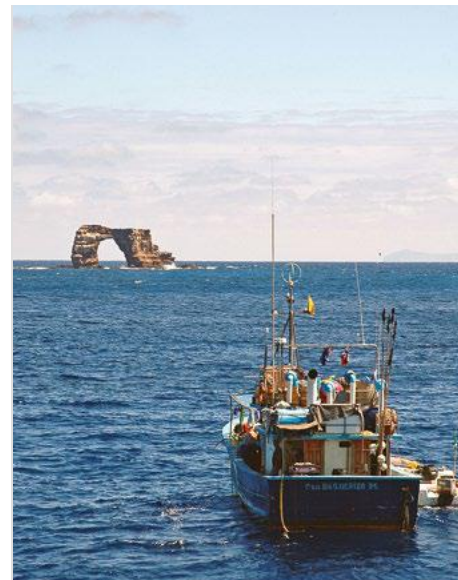
(Imagen: A. Schubauer)



(Imagen: A. Camacho)



(Imagen: CC-FDC)



(Imagen: S. Banks)



(Imagen: CC+ FCD-Biomar)



(Imagen: A. Schubauer)



(Imagen: CC+ FCD-Biomar)

Diferentes fuentes de información biofísica combinadas con los datos del monitoreo submareal respaldan las líneas de investigación y las actividades asociadas aplicadas en la RMG (tabla 2-2). Los ejes centrales del programa son :

- I. Desarrollo de un sistema de observación, monitoreo y alerta temprana para la RMG (con elementos de coordinación interagencia y ciencia ciudadana).
- II. Definición y validación de los hábitats y servicios ecosistémicos como objetos de conservación y sus tendencias en el tiempo.
- III. Determinación de la biogeografía, zonas sensibles para grupos ecológicos submareales costeros y de aguas abiertas y distribución de especies amenazadas.
- IV. Monitoreo anual de cambio ecosistémico en la franja costera con énfasis en la generación de índices de cambio por sitios de diagnósticos de arrecife rocoso.
- V. Revisión de la eficacia, representatividad y compatibilidad del diseño de la RMG, según sus metas acordadas con la entidad manejadora y con cada usuario sectorial (pesca, turismo, educación, ciencia).
- VI. Exploración de escenarios climáticos y de uso antropogénico por medios de modelaje (tróficos/energéticos, conectividad oceánica, optimización espacial de uso, análisis de redes, etc.).
- VII. Caracterización y modelaje de sistemas socio-ecológicos (cadenas de causalidad y efecto, expectativas de los usuarios y funcionarios de la RMG, sus interrelaciones y dependencias).
- VIII. Capacitación de voluntarios y tesistas de licenciatura, con posibilidad de MSc o PhD con colaboradores externos. Capacitación de funcionarios del DPNG, ABG e INOCAR.
- IX. Actividades de extensión (*outreach*) y educación ambiental (como el paquete didáctico FCD-CI 'Ciencia a la Acción', en el 2010) entre los responsables de toma de decisiones y los usuarios de la RMG.

Vale la pena destacar que la formación de nuevos investigadores jóvenes, como futuros custodios de la RMG, ha sido una inversión sumamente valiosa del Área Marina de la FCD durante los últimos 15 años. Jóvenes profesionales de la ECCD ahora trabajan en diversos puestos en universidades y en el sector público. Se han convertido en voceros de la comunidad local para un uso bien informado, inteligente y sostenible de la RMG.

(Imágen: G. Edgar)



Tabla 2-2: Fuentes principales de información biofísica aplicadas a las líneas de investigación para la RMG por parte de la Fundación Charles Darwin (FCD) (gestión de pesca y turismo se han omitido pero están disponibles en la DPNG y la FCD).

	DESCRIPCIÓN DE DATOS	DOMINIO ESPACIAL	RESOLUCIÓN TEMPORAL	FUENTE
Climatología/ oceanografía (local y mesoescala)	Registro meteorológico FCD	Sitio fijo en Puerto Ayora, Santa Cruz.	3 medidas diarias. 1964-presente.	FCD- Rea
	Datos de sensores remotos satelitales (NASA-SeaWiFS, NASA-MODIS- AQUA, NOAA-AVHRR etc.), productividad, temperatura, etc.	Región de Galápagos [2N x 2S, 91O x 89O].	Productos multianual, varias resoluciones. 1998-presente.	NASA-FCD-Banks Proyecto NASA-Ocean
	<i>Southern Oscillation Index</i> (SOI) + <i>Multivariate ENSO Index</i> (MEI) Series para la región EN3.4 e índices geoespaciales de estrés ambiental y ENOS para la RMG (Banks).	Regiones: EN 3.4 región y EN 1+2 y a 1.1 a 4 km ² resolución en la zona costera por la región de la RMG. (las zonas diagnosticos de El Niño (EN) designado por la NOAA estan en Figura 15.1)	1950-presente (región). 2002-2013 (local). Datos de boyas y satelitales aplicados semanal y mensualmente.	NOAA / NWS / CPC / KAPLAN / NCEP/ CIFEEN/ FCD-Banks
	Cruceros oceanográficos FCD-DPNG 2004-2007 (profundidad de isotermas, temperatura, salinidad, orgánicos disueltos, fitoplancton, zooplancton, etc.) + datos de cruceros bianuales de INOCAR.	>60 sitios fijos de perfiles verticales en aguas costeras y abiertas a través de tramos de 1500 m de muestreo continuo, más de 18 estaciones oceanográficas <i>in situ</i> a profundidades entre 10 m y 20 m.	5 cruceros estacionales (caliente, frío y transiciones) 2004-2007 + cruceros anuales de INOCAR desde los 70.	DPNG, UNCW, NCSU, INOCAR & FCD-Banks
Hábitats, comunidades y especies	Base de datos FCD-DPNG de anidación de tortuga verde, + <i>tagging</i> , marcaje y recaptura.	Cuatro playas de anidación (Isabela sur y Santa Cruz).	Estacional Diciembre-Mayo.	FCD-DPNG Zarate/ Parra
	FCD base de monitoreo de cetáceos y pinnípedos (Salazar 2007).	Censo poblacional por colonias principales.	1998-2008 censo estacional poblacional.	FCD-Salazar
	FCD-DPNG base de datos de monitoreo de pingüinos y cormoranes, aves marinas, flamíngos.	Varios; censo poblacional entre colonias de pingüinos en Isabela oeste, Fernandina y Floreana.	1970-2014 censo anual de pingüinos. Varían entre las aves marinas.	FCD-DPNG Vargas, Jimenez
	FCD base de monitoreo de iguanas marinas.	Punta Nuñez, Santa Cruz.	1997-2006 censo mensual.	FCD-Marquez & Llerena
	Fidelidad de sitio para tiburones y censos pelágicos	Sitios específicos - Wolf, Darwin, Cabo Marshall, archipiélago central.	Datos discretos de censo, <i>tagging</i> y telemetría. 2007-2013	FCD-Hearn, Peñaherra, Acuña
	Muestreos de hábitats profundos >40 m a 2500 m. Por cruceros internacionales y submarinos.	Todo el archipiélago	2007+ según oportunidades de cruceros.	DPNG/ INOCAR/ FCD-Banks
	FCD base de datos submareal (4 grupos de taxa; peces, macroinvertebrados móviles, sésiles, mesogastrópodos y algas).	A nivel de toda la RMG por >280 sitios en tramos de 50 m por 2 profundidades (15 m y 6 m) representando >1500 muestras (>2800 transectos de 50 m).	1994-2014 anual. >64 sitios han sido monitoreados cada año desde el 2004 al 2014 entre las distintas bioregiones.	FCD-Banks
	FCD matriz de sensibilidad de especies, hábitats y procesos considerados vulnerables (incluyendo especies invasoras marinas).	Archipiélago.	En revisión cada año 2009+	CI-FCD-Banks datos de la Lista Roja de la IUCN para algas y corales
	Mapeo de hábitat vertical por la RMG semicuantitativo a 40 - 2 m.	Archipiélago (110 sitios).	2004-2007	Edgar-National Geographic; FCD-Banks
	Datos del crucero de exploración profunda para 'kelp' (alga).	Hábitat específico de 'kelp' en Fernandina e Isabela oeste.	2007	MLML-FCD Banks

Cuestionamientos sobre sostenibilidad

Los datos de los censos de comunidades submareales desde el 2004 figuran en el análisis de cambios en el tiempo sobre la zona costera y corresponden a una serie de preguntas acerca de la dinámica de la RMG y del diseño de áreas marinas protegidas en general. Tal información biofísica, conjuntamente con índices sociales, culturales y económicos, sirve como parte de la evaluación del estado actual y del desempeño de la RMG. Es muy aconsejable tener una visión clara sobre lo que queremos comprobar con un diseño experimental:

- ¿Cuáles son las tendencias interanuales y estacionales de los objetos de conservación priorizados para la RMG?
- ¿Cómo han respondido las comunidades en los sitios monitoreados al sistema actual de zonificación costera? ¿Existe evidencia de los efectos positivos de las áreas marinas protegidas (*Spill-over*, estructuras, poblaciones saludables, etc.)?
- ¿Qué índices geoespaciales biofísicos extraídos de los monitoreos submareales son los más informativos y relevantes para mejorar los escenarios y modelos que llevarían a posibles reformas en la zonificación costera de la RMG, con los responsables de la toma de decisiones y los usuarios?
- ¿Cuáles son las especies endémicas y nativas, hábitats y procesos submareales expuestos a un mayor riesgo de extinción y/o degradación? ¿Cuáles son las causas y qué acciones podrían mitigar tales riesgos?
- Tomando en cuenta la zonificación actual (que tiene un marco legal vigente desde 1999, demarcada hace unos 7 años y socializada desde el 2005-2006), ¿Cuáles son escenarios para la reforma de la zonificación costera que ayudarían a fortalecer las metas del Plan de Manejo Integrado para el Buen Vivir?
- ¿Qué aspectos institucionales y de la sociedad (governabilidad, conflicto entre usos, temas de distribución de los beneficios y mercados, costos y ventajas para la vigilancia marítima, etc.) tienen una mayor influencia sobre el condicionamiento natural de la Reserva?

La información también se aplica a investigar cuestiones acerca la sostenibilidad de recursos marinos a largo plazo en la RMG y las conexiones entre áreas marinas manejadas en el Pacífico Este Tropical.

- ¿Cómo definir mejor y priorizar los objetos de conservación en la RMG en tiempo y espacio según su nivel de riesgo, necesidades y valoración del sector público y privado entre el 2014 y el 2020?
- ¿Qué tipo de riesgos y oportunidades existen en la interacción entre las perturbaciones antropogénicas (como extracción de recursos pesqueros) y la variabilidad climática (ENOS/Oscilación Decanal del Pacífico (ODP) y global)?
- ¿Cómo integrar elementos de adaptación frente la inevitable dinámica de eventos ENOS fuertes y a la incertidumbre presentada por el cambio climático en el diseño de la RMG?
- ¿Qué índices (algoritmos) derivados de los ensamblajes de especies, grupos funcionales y derivados de índices oceánicos serían más informativos e indicativos para estimar la resiliencia y resistencia de componentes de la RMG frente a perturbaciones a escalas relevantes por procesos en la RMG?
- ¿Cuáles son los puntos detonantes en la configuración de comunidades submareales tras los cuales los sistemas naturales experimenten una degradación o colapso en su estado, impactando en la productividad, la diversidad, los servicios ecosistémicos brindados a los usuarios, etc.?
- ¿Cuáles serían las condiciones necesarias para facilitar la recuperación de las comunidades en las zonas santuarios de la RMG, parecidas a las configuraciones productivas reportadas antes de las perturbaciones fuertes (ENOS combinado con índices altos de extracción) entre 1980 y el 2000? La dominancia de los erizos observada en los últimos 30 años, por ejemplo, ¿es reversible? ¿a qué escala?



(Imagen: Jorge Ramírez)



(Imagen: H. Lugo)



(Imagen: A. Camacho)

¿Por qué continuar con un monitoreo de las comunidades submareales?

De acuerdo con el plan de manejo de la RMG (1999), el esquema de zonificación provisional quedó pendiente de evaluación luego de un período experimental de solo dos a cuatro años. Este proceso se ha alargado debido a varios motivos, entre ellos, la gran atención a los asuntos pesqueros que ha dedicado la Junta de Manejo Participativo JMP, la demora en señalar físicamente las subzonas de manejo en la costa y el mismo proceso de reforma del Plan de Manejo de la DPNG.

Una consultoría con la DPNG, para la evaluación del Plan de Manejo por Hockings et al. en el 2010, avanzó en este proceso prestando atención a aspectos de gobernabilidad y mejoras en la logística para fortalecer el área manejada. Se consideraron los efectos ecológicos, sociales y económicos hasta la fecha. Por lo tanto, es sumamente importante dar continuidad y consistencia a este proceso de evaluación del estado y la respuesta de los recursos naturales de la Reserva Marina que se inició con el establecimiento de la Línea Base de la Biodiversidad.

Uno de los principales limitantes del estudio de la Línea Base de la Biodiversidad Marina fue la escasa representación temporal del monitoreo. En general, es bien sabido –luego de estudiar otras APMs a escala mundial– que beneficios como la protección de la biodiversidad y la rentabilidad pesquera en zonas adyacentes normalmente requieren un mínimo de 10 años para evidenciarse en la zona costera. Los monitoreos, inclusive, deben tomar en cuenta los extremos y el rango de la señal climática para la región, lo cual en Galápagos es representado por los eventos fuertes de ENSO (La Niña y El Niño) que han afectado a las islas con mayor incidencia en ciclos de 8 a 16 años.

El actual diseño de zonificación, con múltiples áreas grandes y pequeñas, brinda una oportunidad única a escala mundial para experimentar y comprobar la eficiencia de su funcionamiento con áreas de distinto tamaño. En este sentido, con un diseño de muestreo adecuado, se pueden detectar los cambios o tendencias que se podrían producir dentro de dichas zonas (ej. cambios en la diversidad, dinámica poblacional, funcionamiento del ecosistema, etc.), proveyendo, de este modo, las bases técnicas para mejorar su diseño y aplicación.



(Imagen: CC+ FCD-Biomar)



(Imagen: CC+ FCD-Biomar)



(Imagen: CC+ FCD-Biomar)

(Imagen: CC+ FCD-Biomar)





(Imagen: G.Feldman/NASA)



(Imagen: G.Feldman/NASA)



Cuadrante para monitoreo de sesiles
(Imagen: M.Vera)

Como se mencionó anteriormente, esto ha servido (figura 2-1) para detectar problemas potenciales y responder a imprevistos de forma proactiva; como en el caso de especies invasoras marinas. Incluso, ha generado foros para extender las técnicas de monitoreo de forma comparativa a otras APMs nuevas en la costa de Ecuador y el Pacífico Tropical Este. También ha sido incluido en el análisis de desempeño de reservas a escala mundial dentro programas de *Marine Management Area Science* y *Reef Life Survey* (Edgar et al. 2014).

El costo de mantener una red de monitoreo mínima representativa está estimado en alrededor de USD 80 000 por año. Dicho costo resulta relativamente modesto si se considera la importancia de la RMG y las inversiones anuales del Estado y de los sectores productivos en beneficio de los recursos y la calidad de vida de la comunidad local.

Aunque es un beneficio adicional, y no el enfoque del programa, el monitoreo brinda una oportunidad para un mejor uso del tiempo en el campo entre una variedad de proyectos de investigación marina. Por su parte, esto ofrece oportunidades únicas para la capacitación de nuevos biólogos marinos locales y nacionales. Los comentarios de ex estudiantes han reiterado que la motivación al apreciar el entorno submarino en persona, dentro la temática de la ciencia para la conservación, ha sido clave en su formación. Además, cada 2 años, más de 500 guías naturalistas han recibido cursos de investigación marina de la FCD, la mayoría de los cuales se han basado en este programa.

En términos de las exigencias para el buceo científico, como se describe en este manual, cualquier trabajo en el campo de buceo requiere de disciplina y de un régimen indiscutible de seguridad, lo cual ha permitido el desarrollo de un protocolo estándar como requisito para los trabajos de la FCD con sus socios en la RMG a través de este programa (ver sección 5).

Las diferentes fases del monitoreo se han enfocado en diferentes escalas de tiempo y espacio. Primero, se concentró en la caracterización de la biogeografía (Línea Base de la RMG 1999-2002); luego, en los cambios estacionales (proyecto Pew Floreana 2000-2003) y anuales (proyecto Sielmann Norte, SE y Oeste 2001-2003); y desde el 2004 al 2014, contamos con el primer registro comparativo de 10 años plurianual. A partir del 2015, como parte del proceso de reformas a la zonificación costera y marina (aguas abiertas), los intervalos y enfoque de monitoreo deben ser evaluados de nuevo, de acuerdo con una revisión de objetivos en conjunto con la DPNG. Este proceso se ha iniciado con la conformación de un red informal de experto marinos.

Finalmente, hasta el 2014, el equipo marino de la FCD (Biomar) se había mantenido con un financiamiento propio; infraestructura, experticia y coherencia de un programa con longevidad necesaria para monitorear cambios entre años y poner las observaciones en el contexto de nuevos sucesos –desde tsunamis hasta el cambio de clima– y novedades en el desarrollo de la huella humana de las islas. Gracias al mantenimiento de este eje central, ha sido posible la detección, representación y concientización de la biodiversidad submareal con una revisión rutinaria de la salud de los hábitats costeros y estudios sobre la viabilidad de los servicios ecosistémicos brindados por la RMG.



Punta Vicente Roca, Isabela (Imagen: S. Banks)

SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS DE DIAGNÓSTICO

3

Hasta el 2014, al rededor de 380 sitios submarinos costeros han sido monitoreados por buzos que se han sumergido hasta 40 m de profundidad para mejorar la Línea Base de la RMG. Estos monitoreos han brindado información sustancial sobre las distribuciones de las comunidades submareales de los sitios y cada año se pretende extender esta cobertura. Los detalles de cada sitio han sido documentados dentro de la base de datos submarinos de la FCD.

Una selección de ellos ha sido utilizada para averiguar cómo cambian los sitios en lapsos de horas, semanas, meses, estaciones y años. Esto ha servido en años anteriores para averiguar la heterogeneidad de comunidades en el espacio y el tiempo y para comprobar las metodologías y el poder estadístico necesario para abarcar más del 90% de la diversidad y detectar posibles cambios.

Es evidente que, debido a las demandas logísticas, un monitoreo anual supondría un equilibrio entre una mayor representatividad de la cobertura de los sitios con menor repetición (representatividad en espacio) a través del tiempo y una mayor repetición de los sitios a través del tiempo con una reducida cobertura espacial. En cada escenario, una respuesta mínima de muestreo en cada localidad ha sido el factor determinante para asegurar un nivel adecuado de error estadístico para detectar cambios.

Para cumplir con los objetivos del monitoreo, se decidió que la unidad mínima de muestreo debe ser estacional (i.e. por lo menos una vez en temporada caliente definida por la temperatura de mar (feb-abril), y si la logística lo permite, también comparaciones en la temporada fría), con sitios entre las 3 subzonas de manejo, replicados al menos dos veces y dentro de un área representativa de 500 m en cada una de las 5 regiones biogeográficas. Esto disminuye el margen de error estadístico y garantiza una mayor cobertura para comparaciones entre regiones, subzonas y, al mismo tiempo, permite la generación de índices sobre patrones poblacionales y de comunidades en los puntos individuales diagnósticos, haciendo posible la comparación de tendencias.



(Imagen: M. Vera)

En el 2004 se llevó a cabo un proceso, liderado por la DPNG, con los actores de la RMG y con el soporte de varios socios, a través de la Junta de Manejo Participativo, para señalar físicamente las subzonas de manejo costero. Al mismo tiempo, fue posible trabajar en conjunto con los sectores de la JMP para aclarar las diferentes interpretaciones del acuerdo original de la zonificación de 1999 y hacer explícitas las delimitaciones geográficas para su futuro manejo.

Uno de los resultados de este proceso fue el diseño de un monitoreo submareal anual de la RMG, basado en repeticiones de 64+ sitios diagnósticos marino-costeros, acordado en el Acta de la JMP Comisión Técnica ZPC 21-10-04 (figura 3-1 y 3-3A/B).

Figura 3-1: Distribución de las agrupaciones de sitios seleccionados para el monitoreo ecológico submareal 2004-2014. *Sitios adicionales (en orden de preferencia) fueron incluidos en el monitoreo en lo factible según los recursos disponibles por año.

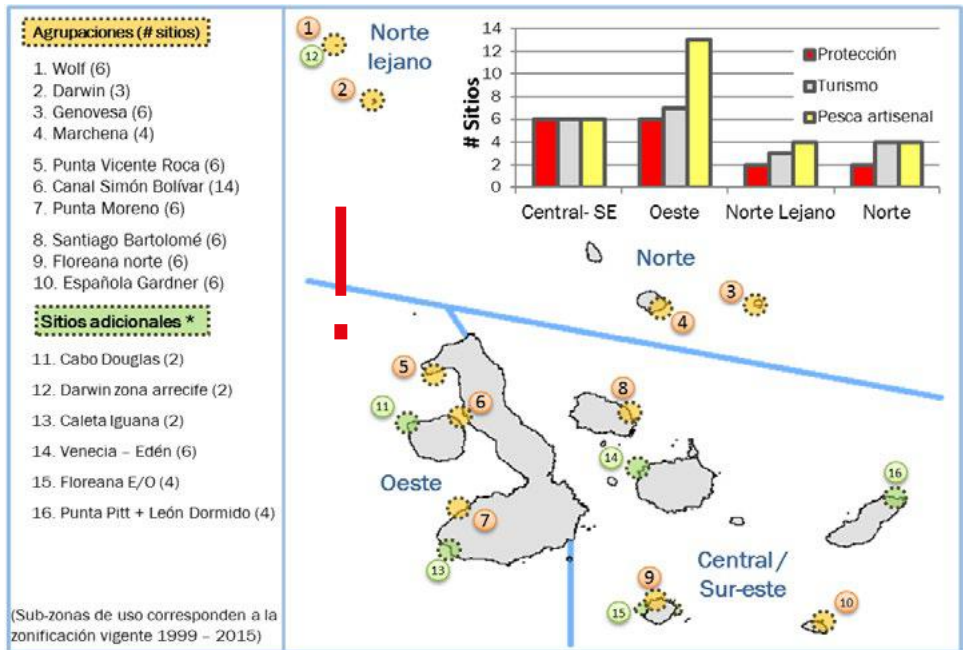


Figura 3-2: Criterio aplicado para la selección de sitios diagnósticos para el periodo 2004-2014. Mayor detalle de las selecciones realizadas por la comisión de zonificación de la JMP ha sido descrita en Banks et al 2006.

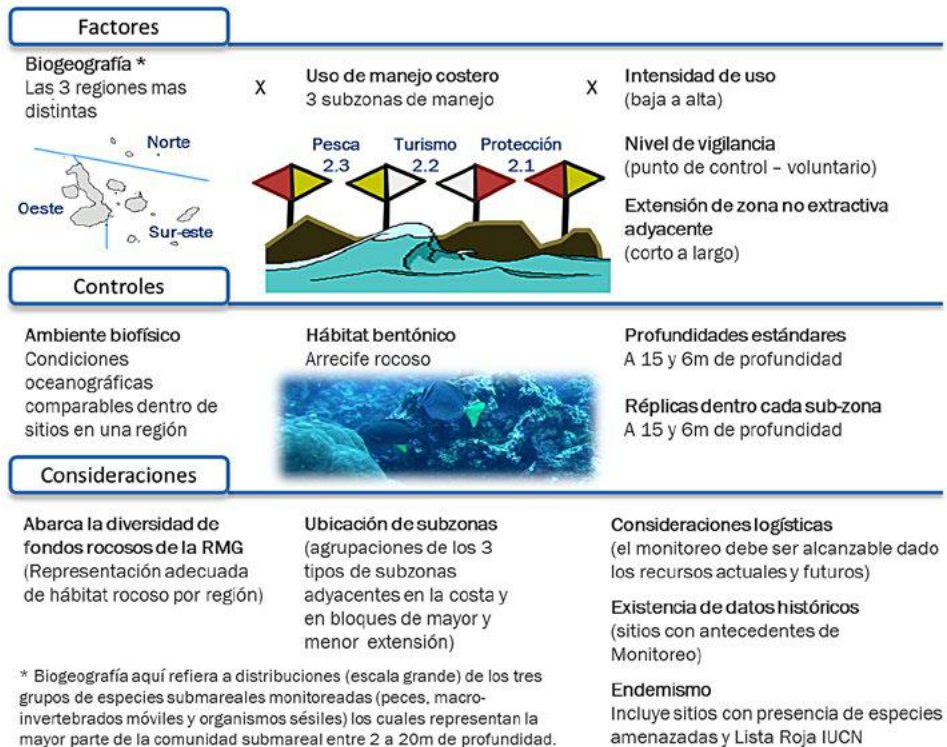


Tabla 3-3A: Grupos de sitios seleccionados para el monitoreo ecológico submareal (basado en subzonas de zonificación 1999-2015). Agrupaciones marcadas (*) representan sitios adicionales.

REGIÓN BIOGEOG.	Isla	Sitios agrupados	2.1 Comparación y protección (grupo protección)	2.2 Conservación y uso no extractivo (grupo uso turismo)	2.3 Conservación, extractivo y no extractivo (pesca)	COMENTARIOS
NORTE LEJANO	Wolf	Wolf	Bahía Tiburón (Corales 1 y 2)	El Derrumbe (Colonia de lobos norte y sur)	Fondeadero oeste (Wolf fondeadero 1 y 2)	Agrupados alrededor de hábitats de coral sensible. El monitoreo de estas pequeñas islas del norte es sumamente importante por su alta riqueza en especies de carácter Indo-Pacífico / Panámico, corales y el incremento de la intensidad de uso turístico de buceo.
	Darwin	Darwin	No existe ninguna subzona de protección en Darwin	Arco de Darwin (Arco de Darwin)	Fondeadero (Darwin fondeadero norte y sur)	
NORTE	Genovesa	Genovesa	Cuernos sur afuera Bahía Darwin (Protección este y oeste)	Dentro de la Bahía Darwin (Pared norte y este)	Fondeadero pesquero noroeste (Fondeadero noroeste, norte y sur)	Estos grupos forman una subzona biogeográfica distinta de aquella del lejano norte y de mezcla al sur. Particularmente, B. Darwin es un fondeadero de alto uso en una bahía con flujo restringido. Punta Espejo cuenta con un hábitat único de corales en la RMG.
	Marchena	Marchena	No existe ninguna subzona de protección en Marchena o Pinta	Punta Espejo (Roca e Islote Espejo)	Punta Calle (P. Calle oeste y este)	
OESTE	Isabela	Punta Vicente Roca	Punta Vicente Roca (PVR Protección 1 y 2)	Punta Vicente Roca (PVR Turismo 1 y 2)	Punta Vicente Roca (PVR Pesca 1 y 2)	Los afloramientos fríos del oeste soportan altas tasas de endemismo, hábitats de macroalgas y especies adaptadas a aguas frías que no se encuentran en ninguna otra parte del archipiélago. Por otro lado, presenta una extracción de biomasa 10 veces mayor y de producción primaria que desaparece durante los eventos climáticos fuertes (El Niño). Cinco agrupamientos de los sitios de monitoreo cubren el área extensa.
		Playa Negra Tagus	Playa Tortuga Negra (P. T. Negra 1 y 2)	Caleta Tagus (Caleta Tagus turismo 1 y 2)	Sur de Caleta Tagus (Caseta PNG 1 y 2) Los Cañones (Los Cañones 1 y 2)	
		Punta Moreno	Punta Moreno (Protección 1 y 2)	Punta Moreno (Turismo 1 y 2)	Punta Moreno (Pesca 1 y 2)	
		Las Marielas *	Las Marielas (Protección)	Las Marielas (Turismo)	Las Marielas (Pesca)	
		Caleta Iguana *	No existe	No existe	Caleta Iguana (1 & 2)	

La selección de los sitios representativos persigue una serie de criterios discutidos en detalle en el foro de la comisión de zonificación de la JMP conjuntamente con expertos externos en APM's (figura 3-2). El análisis de los datos históricos y la priorización de los criterios de selección dieron como resultado una lista de sitios (y agrupamientos de sitios) candidatos, los cuales están listados en tabla 3-3A y B.

Incluso se realizaron jornadas de trabajo de campo con inmersiones dedicadas solo al monitoreo de salud de los corales hermatípicos en ciertos sitios, investigaciones dirigidas a especies amenazadas y poco comunes, búsqueda de especies invasoras potencialmente problemáticas y un mapeo del fondo marino de los formadores de hábitat a profundidades uniformes y con transectos verticales. Las metodologías para estos monitoreos también están descritas en este manual.

Cada sitio ha sido caracterizado por el tipo de sustrato, el acercamiento en la superficie, los formadores de hábitat predominantes, la pendiente, las corrientes típicas y el rango de oleaje (si son relativamente estables, muchas veces son impredecibles) y los detalles sobre precauciones de seguridad para la inmersión, con indicaciones sobre el perfil del transecto y la mejor manera de colocar el punto de inicio y final del mismo. Estos datos han sido actualizados y mantenidos en la base de datos submarinos en la tabla de 'Site'.

Tabla 3-3B: Grupos de sitios seleccionados para el monitoreo ecológico submareal (basado en subzonas de zonificación 1999-2015). Agrupaciones marcadas (*) representan sitios adicionales priorizados por la presencia de especies endémicas, formadores de hábitat como macro algas o para extender la cobertura del monitoreo si existen recursos.

REGIÓN BIOGEOG.	Isla	Sitios agrupados	2.1 Comparación y protección (grupo protección)	2.2 Conservación y uso no extractivo (grupo uso turismo)	2.3 Conservación, extractivo y no extractivo (pesca)	COMENTARIOS
OESTE	Fernandina	Punta Espinoza	No existen subzonas 2.1 cerca de Punta Espinoza en Fernandina	Punta Espinoza (norte) Turismo (P.Espinoza N1 y N2)"	Punta Espinoza (sur) a Punta Priscilla (P.Espinoza sur1 y sur2) (P. Priscilla 1 y 2)	Punta Espinoza es un sitio de alto uso turístico que cuenta con un buen registro histórico de datos submareales. Cabo Douglas, por el contrario, es uno de los sitios más prístinos de las islas con un bajo flujo de visitas y poblaciones extensivas de iguanas marinas.
		Cabo Douglas *	Cabo Douglas (surorste) (Limite Protección)	Cabo Douglas (Turismo) (Piedra blanca y Cabo Douglas 1)	Cabo Douglas (este) (Limite Pesca)	
CENTRAL / SUR-ESTE	Santiago	Santiago este	Este de la costa de Santiago (Bahía Sullivan y El Muerto)	Roca Cousins y Bartolome (Cousins y Bartolome)	Noreste de la costa de Santiago (Santiago Noreste 1 y 2)	El área sureste es la más dinámica, bajo cambios de corrientes superficiales estacionales y una compleja manifestación de la corriente submarina de Cromwell, lo que le da aún más variabilidad. Incluye los bloques de protección más extensos de Santiago y Floreana. Esta última cuenta con el mejor registro histórico de datos submareales con repeticiones en el tiempo desde 1994 en la FCD y por los trabajos de Wellington y Glynn entre las décadas de 1970-1980.
	Española	Bahía Gardner	Bahía Gardner (sur) (B. Gardner Sur y Cerro Colorado)	Gardner Turismo (Isla Gardner norte y Bajo Gardner)	Bahía Gardner (norte) (Bahía Gardner norte 1 y 2)	
	Floreana	Floreana norte	Costa frente de Champion hacia Punta Cormorán (P. Cormorán y Tres Cuevitas)	Corona del Diablo norte y sur	Punta Luz del Día (Pesca) (P.Luz del Día y PLD Este)	
		Floreana oeste y este *	Las Cuevas (norte) (Protección)	Islote Champion/ Enderby	Las Cuevas (sur) (Pesca) y La Botella	
Santa Cruz	Noroeste Santa Cruz *	Islote Edén (Protección)	Islote Edén (sur) (Turismo)	Islote Venecia (Pesca)		

Isla Darwin (Imagen: S. Banks)





Monitoreo en La Botella - Floreana (Imagen: S. Banks)

INDICADORES SOBRE EL ESTADO BIOFÍSICO DE LA RMG

4

La información recopilada sobre composiciones de comunidades submareales tiene diversos usos para la ciencia marina y el manejo de la RMG. Sin embargo, el ritmo para la gestión del manejo normalmente requiere de respuestas urgentes basadas en datos adecuados para vigilar mejor y reportar a la comunidad sobre los hábitats y sus bienes. Una retroalimentación regular y enfocada mejora la probabilidad de enfrentar cualquier problema de una manera proactiva y más informada.

En vista de que la información levantada es difícil de entender por sí sola, es necesario diseñar indicadores que hagan uso de estos datos para evaluar cómo está funcionando el área protegida en forma comparativa en el tiempo. En general, un buen indicador cumple con cinco criterios: ser medible, preciso, comparable en el tiempo, sensible y sencillo (Margolius y Salafsky 1998).

Desde el 2004 han existido varios trabajos para aplicar indicadores a la gestión de la RMG, entre ellos, juegos de indicadores biofísicos, socio-económicos, de gobernabilidad y diseño del APM. Estos trabajos fueron basados en los objetivos del Plan de Manejo de la DPNG y luego, bastante acoplados al trabajo de Pomeroy et al. 2004 ('How is your MPA Doing?'). Aquí mencionamos los indicadores biofísicos y aspectos de diseño y de representatividad dentro del APM. No obstante, varias ONG, entre ellas la FCD, han trabajado durante los últimos años para levantar información relevante sobre los componentes institucionales, sociales, culturales y económicos. Los ingresos generados por la RMG y la seguridad que brinda a la comunidad para su futuro dependen de su capital natural.

En conjunto, tales índices nos ayudarán a averiguar cambios en la RMG, pero también a entender mejor los vínculos entre el estándar del 'buen vivir' de la comunidad, el estado de su entorno ambiental y los nudos críticos que deberíamos enfrentar para resolver cualquier conflicto de uso que afectaría el capital natural.

Los indicadores biofísicos candidatos para los datos del monitoreo ecológico están agrupados por nivel poblacional, por especies claves, comunitarios por hábitat y por factores abióticos (figura 4-1 A-E).

"Es sólo mediante la integración deliberada de seguimiento y evaluación en el proceso general de gestión del AMP que los beneficios de la gestión adaptativa se pueden realizar".

**"How is my MPA Doing?" WPCA
Marine, NOAA-NOS y WWF
Endangered Seas
2004**

Tabla 4-1: Índices informativos sobre el diseño espacial del APM (adaptados de Pomeroy et al 2004).

D1 Representación de hábitats en zonas no extractivas.
D2 Proporción de zonas designadas como semilleros en cada región biogeográfica.
D3 Nivel de replicación de zonas no extractivas y de hábitats dentro de cada zona biogeográfica.
D4 Nivel de protección en áreas marinas costeras de alimentación, anidación y forrajeo de especies marinas que permanecen en colonias terrestres (ej. pingüinos, cormoranes y lobos marinos).
D5 Representación de los servicios ecosistémicos / objetos de conservación dentro de zonas no extractivas.
D6 Nivel de actividad de monitoreo para seguir adecuadamente las medidas de manejo.

Aunque son más difíciles de estimar, hemos incluido también unos índices ecológicos exploratorios más complejos como la integridad trófica (estimado con modelos más extensivos como 'Ecopath with EcoSim' que incorporan datos por grupos definidos del monitoreo submareal y de poblaciones de especies (Okey et al. 2004)) y categorías como la resiliencia, las cuales todavía requieren mayor investigación o un marco experimental más contundente para su útil aplicación.

Como se ha mencionado anteriormente, el enfoque del levantamiento de datos ha sido mayoritariamente para arrecife rocoso (que representa >80% de la zona costera donde interactúan personas) aun si existen datos de línea base acerca de los demás hábitats. Algunos hábitats, como fondos blandos o manglares, tienen prioridad de atención. Otros, como los pináculos submarinos de la cordillera ubicados entre los 2000 m a 300 m de profundidad o bentos hidrotermales en el plano abisal, tienen limitadas oportunidades para el estudio con cruceros o equipos costosos. En la mayoría de estos ejemplos, queda el desafío para gestionar un programa de monitoreo integrado con un financiamiento estable interanual que cuente con una infraestructura técnica robusta.

En términos de la información disponible para investigaciones de línea base y actividades de monitoreo hasta el 2014, indicadores B1 y B3 sobre poblaciones y comunidades tienen información levantada por los grupos submareales durante el periodo 2004-2014 por toda la RMG. Además, existen datos recopilados en el tiempo para ciertos grupos de especies claves como pingüinos, cormoranes, otras aves marinas, pinnípedos, cetáceos y tortuga verde, los cuales han contado con distintos programas individuales de monitoreo en determinados sitios y con varios equipos de investigación de la FCD, la DPNG y la ciencia ciudadana en barcos de turismo.

Indicadores B4 y B5 se refieren a índices calculados por la integración de la información comunitaria en modelos, y es un área de investigación activa, no solo en la RMG sino también a escala mundial.

Pez murcielago, *Ogcocephalus darwini* y estrella de mar *Pentaceraster cumingi* (Imagen: R. Gallardo)



Tabla 4-2 A: Índices biofísicos para la RMG basados en datos poblacionales obtenidos por censos visuales, marcaje y recaptura.

Indicadores biofísicos	Grupos potenciales de monitoreo	Métodos e implementación	Medidas	Frecuencia de las mediciones	Fuente de verificación	Grupos de organismos
<p>B1</p> <p>Abundancia de especies claves</p>	<p>Especies claves Algunas especies pueden ser miembros de varios de los grupos.</p> <p>a. Endémicas Insular Cocos-Malpelo-Glps.</p> <p>b. Bandera Emblemática para temas de conservación en las islas.</p> <p>c. Keystone/ Clave Cumple un papel funcional clave dentro del ecosistema.</p> <p>d. Indicadoras de perturbaciones Sensibles a cambios fuera del rango normal para su hábitat, (ej. ENOS o la sobre-pesca, etc.).</p> <p>e. Objetivo pesquero Extraídos por la pesca artesanal para el consumo.</p> <p>f. Objetivo turístico De importancia para la oferta turística de las islas.</p> <p>g. Exóticas Transeúntes, potencialmente problemáticas establecidas en la RMG e invasoras en el 'watch list' de la región.</p> <p>h. Amenazadas Considerado EN, VU o CR, según los criterios de la IUCN Lista Roja.</p>	<p>1. Registros por especies de monitoreo submareal Dirigidos a especies de interés (ej. lobos marinos, tiburones, etc.).</p> <p>2. Registros de especies focales Dirigidos a especies de interés (ej. lobos marinos, tiburones, etc.).</p>	<p>Índices univariados</p> <p>1. Abundancia relativa</p> <p>2. Avistamientos de especies focales incl. presencia o ausencia.</p> <p><i>Individuos / colonias, Avistamientos de individuos / colonia, porcentaje de cobertura, Densidad/ m²</i></p>	<p>Depende de los recursos para el monitoreo y los grupos objetivos del programa de monitoreo.</p> <p>Mínima: 1 vez por año en estación caliente (Feb.-Mayo).</p> <p>Óptimo: Dos monitoreos por año en cada estación (caliente y fría). Más útil durante eventos de El Niño / La Niña.</p> <p>En caso de especies meta pesquera, pre / post pesquería según las comisiones técnicas de la JMP.</p>	<p>Datos ubicados en:</p> <p>Base de datos submarinos de la FCD</p> <p>Bases de vertebrados marinos (varios) FCD-DPNG.</p> <p>Soprote anterior: DPNG, Darwin Initiative, Línea Base, PEW, Sielmann, BID Turismo, CHMMAS y Zoning Evaluation USAID.</p>	<p>Peces, macroinvertebrados móviles, sésiles, algas, mesogasterópodos, plancton.</p> <p>Peces pelágicos.</p> <p>Vertebrados costeros (aves marinas, reptiles, cetáceos, pinnípedos etc.</p> <p>Censos pre-post pesquería (langosta, pepino del mar).</p>
<p>B2</p> <p>Estructura de las poblaciones de las especies claves</p>	<p>Especies claves Algunas especies pueden ser miembros de varios de los grupos.</p> <p>a. Endémicas Insular Cocos-Malpelo-Glps.</p> <p>b. Bandera Emblemática para temas de conservación en las islas.</p> <p>c. Keystone/ Clave Cumple un papel funcional clave dentro del ecosistema.</p> <p>d. Indicadoras de perturbaciones Sensibles a cambios fuera del rango normal para su hábitat, (ej. ENOS o la sobre-pesca, etc.).</p> <p>e. Objetivo pesquero Extraídos por la pesca artesanal para el consumo.</p> <p>f. Objetivo turístico De importancia para la oferta turística de las islas.</p> <p>g. Exóticas Transeúntes, potencialmente problemáticas establecidas en la RMG e invasoras en el 'watch list' de la región.</p> <p>h. Amenazadas Considerado EN, VU o CR, según los criterios de la IUCN Lista Roja.</p>	<p>1. Registros por especies de monitoreo submareal Dirigidos a especies de interés (ej. lobos marinos, tiburones, etc.).</p> <p>2. Registros de especies focales Dirigidos a especies de interés (ej. lobos marinos, tiburones, etc.).</p>	<p>Distribución de las tallas de las poblaciones.</p> <p>Estimación y distribución de la biomasa.</p> <p>Espectro de tallas o biomasa / edades, porcentaje de madurez sexual.</p>	<p>Depende de los recursos para el monitoreo y los grupos objetivos del programa de monitoreo.</p> <p>Mínima: 1 vez por año en estación caliente (Feb.-Mayo).</p> <p>Óptimo: Dos monitoreos por año en cada estación (caliente y fría). Más útil durante eventos de El Niño / La Niña.</p> <p>En caso de especies meta pesquera, pre / post pesquería según las comisiones técnicas de la JMP.</p>	<p>Datos ubicados en:</p> <p>Base de datos submarinos de la FCD</p> <p>Bases de vertebrados marinos (varios) FCD-DPNG.</p> <p>Soprote anterior: DPNG, Darwin Initiative, Línea Base, PEW, Sielmann, BID Turismo, CHMMAS y Zoning Evaluation USAID.</p>	<p>Peces, macroinvertebrados móviles, sésiles, algas, mesogasterópodos, plancton.</p> <p>Peces pelágicos.</p> <p>Vertebrados costeros (aves marinas, reptiles, cetáceos, pinnípedos etc.</p> <p>Censos pre-post pesquería (langosta, pepino del mar).</p>

Tabla 4-2 B: Índices biofísicos para la RMG basados en datos de comunidades por hábitat obtenidos por medio de censos visuales y modelaje.

Indicadores biofísicos	Grupos potenciales de monitoreo	Métodos e implementación	Medidas	Frecuencia de las mediciones	Fuente de verificación	Grupos de organismos
B3 Distribución, composición y estructura de comunidades	Hábitats: Intermareal y humedales: a. Intermareal rocoso (playas - barrancos) b. Playa arenosa c. Manglares d. Lagunas costeras	a. Monitoreo intermareal * b. Monitoreo de macrofauna e infauna c. Monitoreo intermareal y submareal por complots dentro de la zona de manglar d. Muestreo de redes y colectores	B3 & B5: Índices univariados y multivariados <i>Cambios en biogeografía</i> Índices de diversidad (alfa y beta) <i>Estimación de biomasa</i> Abundancia de grupos funcionales, Estructura de tallas poblacionales. <i>Estructura de hábitat vertical y por profundidad</i> <i>Spr, distribución, morfología y salud / enfermedades de los corales</i> B4: <i>Modelaje trófico (EcoPath software)</i> Fuerza de interacciones entre especies, Análisis de viabilidad de poblaciones Eficiencia del flujo de energía	B3: De 2 a 4 veces por año (dependiendo del sitio, del desarrollo de eventos oceanográficos y climáticos anómalos, así como de fondos disponibles). B4: Modelos basados en datos estacionales y hasta bi-anauales con EcoSim software.	B3: Datos 1994-2014: Proyectos FCD: Darwin Initiative, Línea Base, PEW, Sielmann, BID Turismo y Zoning Evaluation USAID. B4: 4 modelos de EcoPath hasta el 2014: a. Arrecife rocoso generalizado (Floreana) (Okey et al. 2004); b. Zona de afloramiento (Canal Simón Bolívar) (Ruiz 2011); c. Aguas abiertas (Peñaherrera y Wolff 2010); d. Sistemas coralinas de Wolf y Darwin (Ruiz, Banks & Wolff 2015).	Peces, macroinvertebrados móviles, infauna, manglar, sésiles, algas, megafauna.
	B4 Integridad trófica	Submareal (<40m): a. Arrecifes rocosos b. Paredes verticales c. Sistemas coralinos d. Fondos blandos e. Camas de macroalgas f. Bajos costeros g. Sistemas hidrotermales costeros	a. Monitoreo submareal ecológico b. Complots fijos y transectos de intersección, video y fotocuadrantes. c. Muestro de infauna y substrato d. Mapeo de hábitat en perfil vertical (B5) e. Censos pelágicos f. Muestreo de agua y sedimento			
B5 Resiliencia de los hábitats y ecosistemas afectados por los impactos climáticos y antropogénicos*	Aguas abiertas: (ambiente pelágico) a. Epipelágico (0- 200 m) b. Mesopelágico (200 m - 1000 m) c. Bathypelágico (1000 - 3500 m+)	a. Censos pelágicos + video transecto. Bitácoras de pesca b. Video cámaras y fotografías remotas con carnada		B5: Comparación antes-después o (Before- After comparison of Impacts o BACI) luego de perturbaciones fuertes (derrame, El Niño, etc.) y entre subzonas extractivas y santuarios.		Peces, cefalópodos, plancton, cetáceos, tortugas marinas.
	Fondo profundo: (Bentónico profundo) a. Batial plataforma (40 m - declive) b. Bajos y cordilleras oceánicas c. Batial declive (plataforma-3000 m) d. Plano abisal (>3000 m) e. Sistemas hidrotermales	a. Cruceros especializados con equipos de video y fotografía remotos (ROV)		B5: Índices de B7 sobre reclutamiento	B5: * Requiere mayor investigación; Índices de modelaje de capacidad del sistema para resistir cambios estructurales y su capacidad de recuperación. Composición de comunidades y cobertura de hábitat. Combina información de B7 sobre reclutamiento	Invertebrados y vertebrados de sistemas profundos.

Tabla 4-2 C: Índices oceanográficos y de clima para la RMG basados en datos remotos satelitales, sensores submarinos y cruceros oceanográficos.

Indicadores biofísicos	Grupos potenciales de monitoreo	Métodos e implementación	Medidas	Frecuencia de las mediciones	Fuente de verificación	Grupos de organismos
<p>B6 Calidad de agua</p>	<p>Parámetros oceanográficos</p> <p>Aguas costeras y abiertas:</p> <p>a. Temperatura superficial (TSM) / submareal</p> <p>b. Productividad primaria</p> <p>c. Salinidad</p> <p>d. Orgánicos disueltos</p> <p>e. Oxigenación</p> <p>f. Oleaje / exposición costera</p> <p>g. Altura de la superficie del mar</p> <p>h. Nutrientes</p> <p>Bahías y fondeaderos</p> <p>i. Contaminación química</p> <p>j. Acumulación de hidrocarburos</p> <p>k. Coliformes</p> <p>l. Desechos sólidos</p>	<p>Extracción de datos satelitales:</p> <p>a. NOAA/ MODIS-Aqua TSM</p> <p>b. SeaWiFS/ MODIS Chl-a</p> <p>c. Hyperion</p> <p>d. SeaWiFS/ MODIS k490</p> <p>e. TOPEX</p> <p>f. NASA SeaWinds y TOPEX</p> <p>g. TOPEX altura del mar</p> <p>Cruceros oceanográficos (traks y perfiles verticales CTD)</p> <p>Requiere laboratorio para químicos:</p> <p>a-e + h-l</p> <p>Instrumentos in situ:</p> <p>(automatizados)</p> <p>Típicamente solo TSM</p> <p>También posible Chl-a, O₂, salinidad con mantenimiento.</p> <p>l. Conteo de basura durante limpieza costera</p>	<p>Índices biofísicos:</p> <p>TSM, [Chl-a], k-490 (orgánicos), Salinidad, [O₂], altura de oleaje, SSH (sea surface height), nutrientes ([NO₃], [NO₂], [PO₄]).</p> <p>Índice local de estrés térmico.</p> <p>Índice local de estrés productivo.</p> <p>Índices climatológicos:</p> <p>Anomalías TSM y de profundidad.</p> <p>Degree Heating/Cooling Weeks (DHW).</p> <p>Profundidad de isoterma a 20 deg.C.</p> <p>NOAA ONI regional</p> <p>Gips Índice de ENOS.</p> <p>Índices de contaminación:</p> <p>Concentraciones de coliformes, metales pesados e hidrocarburos</p>	<p>Datos satelitales:</p> <p>Dianos resumidos al nivel semanal y mensual.</p> <p>Datos de instrumentos in situ</p> <p>instalados por la zona costera a 10 m y 20 m de profundidad; recuperados cada 6 meses por año.</p> <p>Programable pero datos con intervalos de 30 minutos normalmente es suficiente.</p> <p>Cruceros oceanográficos:</p> <p>Realizados cada año o estación (por INOCAR).</p>	<p>Datos satelitales:</p> <p>NOAA/ NASA/ ESA, uso libre, 1986-presente.</p> <p>Datos de cruceros:</p> <p>Oceanográficos INOCAR.</p> <p>MN Sierra Negra Proyecto NASA-Ocean FCD/ DPNG 2004-2007.</p> <p>Cruceros internacionales colaborativos (NSF/ NOAA/ EU etc.)</p> <p>Datos de loggers HOBO:</p> <p>En Wolf fondeadero, Punta Espinoza, Ferdinandina, Bahía Academia, Santa Cruz, FCD-Marino.</p> <p>JICA- DPNG</p> <p>Proyecto Calidad de agua Bahía Academia.</p>	<p>Parámetros abióticos.</p>

Tabla 4-2 D: Índices biofísicos para la RMG basados en estimaciones de reclutamiento por censos poblacionales y uso de colectores de larvas y juveniles.

Indicadores biofísicos	Grupos potenciales de monitoreo	Métodos e implementación	Medidas	Frecuencia de las mediciones	Fuente de verificación	Grupos de organismos
<p>B7</p> <p>Nivel de reclutamiento</p>	<p>Especies claves: Especies formadores de hábitat, bioingenieras, extraídas o endémicas con poblaciones pequeñas.</p> <p>a. "Keystone" / Pieza Clave Cumple un papel funcional clave dentro del ecosistema.</p> <p>b. Objeto pesquero Extraídos por la pesca artesanal para consumo</p> <p>c. Amenazadas Consideradas EN, VU o CR según los criterios de la IUCN Lista Roja.</p>	<p>1. Tallas de juveniles Censo de macroinvertebrados móviles y peces en el monitoreo ecológico submareal. Trampas / colectores submarinos.</p> <p>2. Placas de sustrato para asentamiento de larvas sésiles Juveniles de langosta, balanos, corales, algas, etc.</p> <p>3. Rastreo de zooplankton Proporción de meroplankton por grupo + larvas de especies meta.</p> <p>4. Búsquedas dirigidas a juveniles crípticos como pepino de mar</p> <p>5. Cuadrantes en complots fijos para corales y algas Nuevas colonias de corales y macroalgas</p> <p>6. Modelaje de corrientes con seguimiento de partículas</p>	<p>1 & 4. Abundancia relativa en tipo de talla para juveniles.</p> <p>2 & 5. Cobertura de especies reclutadas en placas o cuadrante / tiempo.</p> <p>3. Densidad de fase larvaria de especies de interés / localidad.</p> <p>6. Índice de acercamiento de partículas sembradas en las demás APMs de la región del Pacífico Este Tropical y desde el Indo-Pacífico (utiliza el tiempo de viabilidad larval por cada grupo taxonómico de interés).</p>	<p>Intervalos de 1 a 3 meses.</p> <p>Resultados de estudios de línea base para caracterizar la selectividad de trampas de larvas, la señal de estacionalidad en el asentamiento y la provisión de larvas son necesarios para aclarar posibles indicadores.</p> <p>Muestras cada 1-3 meses durante eventos fuertes de La Niña o El Niño podrían ser bastante informativos para el manejo en futuros eventos.</p>	<p>Varias investigaciones anteriores para diseñar colectores de juveniles (J. Moreno, F. Rivera, A. Hearn).</p> <p>Manipulación experimental con placas por Dr. Jon Witman 1997-2014+</p> <p>Datos filtrados de monitoreo ecológico submareal para juveniles.</p> <p>Modelo HyCoM de circulación oceánica por FCD-NCSU + modelo ROMS de INOCAR.</p>	<p>Formadores de hábitat (corales, macroalgas).</p> <p>Especies meta de las pesquerías (ej. langosta, pesca blanca, pepino)</p> <p>Vectores de corrientes superficiales y profundas.</p>
	<p>Conectividad:</p> <p>a. Prevalencia de corrientes de las provincias biogeográficas del Pacífico Panamá, Perú / Chile, Indo-Pacífico.</p>					

Tabla 4-2 E: Índices biofísicos para la RMG basados en datos sobre las pesquerías artesanales de Galápagos.

Indicadores biofísicos	Grupos potenciales de monitoreo	Métodos e implementación	Medidas	Frecuencia de las mediciones	Fuente de verificación	Grupos de organismos
<p>Tipo, nivel y éxito de captura (CPUE) de los recursos pesqueros</p> <p>B8</p>	<p>Pesquerías artesanales:</p> <p>1. Invertebrados marinos</p> <p>a. Pepino de mar <i>Isostichopus fuscus</i></p> <p>b. Langosta sp. 3 <i>Panulirus sp.</i> + <i>Scyllarides astori</i></p> <p>c. Moluscos submareales <i>Hexaplex</i>, <i>Pleuroploca</i>, pulpo, etc.</p> <p>d. Recursos intermareales Canchalagua, pulpo, churo, etc.</p> <p>2. Peces.</p> <p>e. Pesca blanca costera Bacalao, camotillo, brujo, pargo, lisa, oiones, etc.</p> <p>f. Pesca blanca oceánica (de altura) Atún, wahoo, jurel, dorado, etc.</p>	<p>1. Registros de observadores a bordo de embarcaciones pesqueras.</p> <p>2. Bitácora de registro de desembarques en los muelles.</p> <p>3. Registro de guías enviado para exportación.</p> <p>4. Estudios plan piloto para artes de pesca alternativas.</p>	<p>Volúmenes y tamaño de captura de los recursos pesqueros.</p> <p>CPUE</p> <p>Proporción y estructura de pesca incidental y pesca asociada a cada pesquería.</p>	<p>Según la dinámica de las temporadas de pesca.</p>	<p>Datos pesqueros:</p> <p>FCD-Línea Base de la RMG.</p> <p>Informes DPNG-FCD pre y post pesquerías e informes de pesca de altura.</p> <p>Bases de proyecto FCD-EU INCOFISH.</p> <p>Reconstrucción de información pesquera por programa PARFISH.</p> <p>Base de datos pesqueros del DPNG-FCD.</p>	<p>Especies meta de las pesquerías</p> <p>Peces oceánicos: <i>Scombrids</i> <i>Caranjids</i></p> <p>Peces costeros: <i>Lutjanids</i> <i>Labriformes</i> <i>Serranids</i> <i>Mugilids</i>, etc.</p> <p>Invertebrados: <i>Panulirus Sp.</i> <i>Scyllarides astori</i>, <i>Isostichopus fuscus</i>, <i>Octopus sp.</i>, <i>Hexaplex princeps</i>, <i>Pleuroploca princeps</i>, etc.</p>



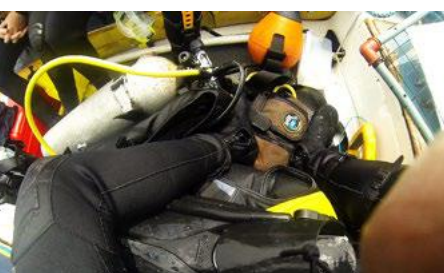
(Imagen: J. C. Moncayo)

5

SEGURIDAD Y PRERREQUISITOS PARA EL BUCEO

"El buceo es, en gran medida, un mundo en blanco y negro, en términos de las leyes y las reglas que hay que cumplir. Todo se reduce a la física clara. Si se rompen las leyes, penas severas se presentan, incluyendo parálisis o incluso la muerte".

**Carlos Eyles,
The Blue Edge**



Cada buzo es responsable por su propio equipo... y desorden.
(Imagen: S.Banks)

La seguridad en el buceo es un requisito absolutamente obligatorio para los trabajos técnicos realizados debajo del agua con el uso de aire comprimido (*Scuba*). Por ende hemos discutido, evaluado y elaborado un 'Manual de Seguridad de Buceo' (Pépolas y Keith 2013) con mucho detalle, el cual está disponible en la FCD. Las actividades del buceo científico y programación de cursos auxiliares (ej. primeros auxilios o provisión de oxígeno) deberán ser revisados con anticipación cada semestre por un Comité de Control de Buceo (CCB).

El trabajo de campo requiere de organización y planificación para poder llevar a cabo y cumplir con éxito los objetivos de cada viaje. Generalmente, existe un encargado de organizar el viaje en general y otro encargado de organizar la operación de buceo. Ambos coordinadores deben trabajar en conjunto para asegurarse de que no se omita nada durante el viaje. Para el éxito de una salida de campo se debe organizar cada etapa tomando en cuenta los siguientes pasos:

- Llevar a cabo reuniones de planificación con el equipo de monitoreo para informar sobre los objetivos y la organización del viaje.
- Tener a la mano una lista del material necesario antes de cada salida.
- Visitar el barco que se utilizará en la salida para verificar si existe espacio suficiente para almacenar los tanques, usar el compresor y operar desde la cubierta con facilidad y seguridad durante los buceos.
- Coordinar con el jefe de logística la hora de embarque y de zarpe de la embarcación.
- Organizar el embalaje y embarque del equipo de campo, teniendo en cuenta que la mayoría del material debe estar almacenado dentro de fundas y contenedores plásticos impermeables, sobre todo los libros, radios, GPS y cámaras fotográficas y de video para que no se dañen durante el transporte.
- Cumplir con el proceso de cuarentena para los equipos con dos días de anticipación antes de la salida al campo.
- Llenar la hoja de solicitud del PNG para obtener el respectivo permiso de salida de campo y cumplir con los requisitos de operaciones de campo establecidos en el Manual de Procedimientos de Campo del PNG.

Durante el viaje se debe asegurar lo siguiente:

- El líder del viaje debe tener todos los papeles y su identificación para presentar a los oficiales de la DPNG, ABG o Armada si fuera necesario.
- Asignar cabinas de manera coordinada, de acuerdo con las necesidades de acceso de los integrantes del grupo.
- Realizar el *briefing* de seguridad antes de iniciar el primer buceo.
- Todos deben saber dónde está el tanque de oxígeno y sus accesorios, el kit de primeros auxilios, los radios y el teléfono satelital.
- Durante el viaje el líder del grupo debe mantener una buena comunicación entre el Oficial de Seguridad (si está presente) y el Capitán del barco.
- Confirmar el horario estimado de los buceos para asegurar que se llegue a los sitios en buena hora y el horario de las comidas. Normalmente, el Capitán es el responsable de la operación de su nave y debe estar bien informado para asegurar que los pangueros estén pendientes cuando salgan los grupos de buzos. Es muy útil dejar un cronograma con el Capitán con puntos de GPS, etc., en caso de que se necesite.
- Cualquier arreglo referente al viaje debe ser discutido directamente con el Capitán.

Cualquier persona que quiera participar como buzo en nuestro programa deberá cumplir con los siguientes requisitos:

1. Haber leído el 'Manual de Seguridad de Buceo' (Keith y Pépolas 2013) en su totalidad y cumplir con todos los requerimientos allí manifestados.
2. Ser un buzo certificado (nivel equivalente a Rescate).
3. Tener un mínimo de 50 inmersiones registradas.
4. Contar con un seguro de buceo (DAN o similar) y asegurarse que su seguro esté vigente.
5. Completar y firmar los documentos 'Descargo de responsabilidades y asunción expresa de riesgo' e 'Información personal'.
6. Estar capacitado en primeros auxilios y como proveedor de oxígeno DAN.

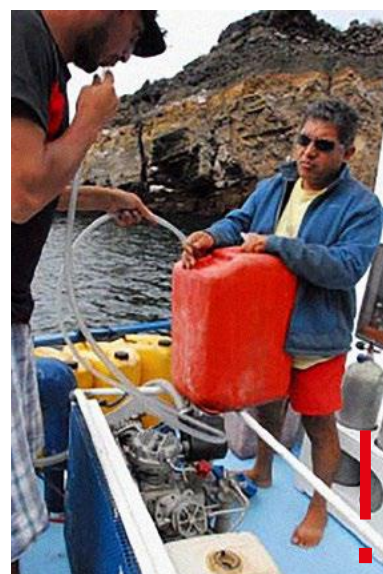
Como se mencionó anteriormente, el trabajo de campo generalmente involucra dos grupos de tres buzos cada uno, acompañados por el respectivo operador de la panga o bote inflable. A los sitios de buceo se accede desde el bote principal por medio de un bote inflable o de una panga de madera. Generalmente, en cada sitio opera un grupo de tres buzos encabezado por un líder de grupo. El buceo es una actividad que exige mucha responsabilidad y seguridad. Es necesario observar y cumplir las normas establecidas para minimizar los riesgos y evitar accidentes. Asimismo, el buceo es una actividad de grupo, por lo que siempre se debe estar pendiente del compañero y estar listo y preparado para asistirlo en caso de que sea necesario. Se debe ser prudente y conservado en las decisiones que se toman.

Además, hay que ser cuidadoso con el equipo, asegurarse de que esté en buenas condiciones antes de cada viaje y darle el mantenimiento necesario para prolongar su durabilidad. Asimismo, se debe ser ordenado antes y después de cada inmersión, y colocar los equipos en los respectivos chayos o fundas de buceo. Cada buzo es responsable por su equipo y debe tratarlo como si fuese suyo. A continuación, se presenta una serie de requisitos y normas para garantizar una operación segura y ordenada. Queda entendido de antemano que cualquier pérdida del equipo por descuido (no accidental) por parte del buzo quedará bajo su responsabilidad personal y deberá de reponerlo.

Siempre buscaremos oportunidades para que estudiantes y voluntarios, dentro de lo posible, aprendan y ganen experiencia en el agua. Esto queda bajo el estricto permiso del Oficial de Seguridad y del líder del viaje. Para ello, debe contar con la supervisión directa de los buzos calificados al nivel de instructor y la inmersión se llevará a cabo en sitios con condiciones adecuadas (mar calmado).



(Imagen: G.Feldman - NASA)



(Imagen: G.Feldman - NASA)



Preparándose para el buceo y llenando los tanques.

(Imágenes: G.Feldman - NASA)

Normas a seguir durante la operación de buceo

Generalmente, nuestro trabajo involucra a dos equipos. Dentro de cada grupo habrá un responsable de la seguridad que se encargará de vigilar y coordinar las actividades bajo el agua. Esta persona debe verificar que exista un radio, un GPS y agua durante cada una de las inmersiones. Además, se responsabilizará de que todos los buzos cuenten con los implementos necesarios antes de cada inmersión y decidirá si las condiciones son adecuadas para la operación de buceo. También realizará un *briefing* sobre las condiciones del buceo, indicaciones sobre el sitio submarino de trabajo y una estimación del tiempo límite para la inmersión a cada profundidad. Estará pendiente de la profundidad bajo la panga y de la distancia entre las dos profundidades para evitar demasiada natación al colocar los transectos. Todos los buzos deben ser conscientes de su orientación y rumbo mediante el uso de una brújula (tomando como referencia la costa). El líder del grupo dará indicaciones al panguero sobre la zona de trabajo y el tiempo estimado total para la inmersión. Finalmente, hará el conteo previo a la inmersión para asegurar el ingreso coordinado y simultáneo de los buzos al agua.

Es aconsejable que todos los integrantes del grupo asciendan y desciendan simultáneamente. Es importante mantener un contacto visual permanente con los compañeros de inmersión y avisar al coordinador o al compañero más cercano sobre cualquier novedad en el funcionamiento del equipo, el estado de salud o la conclusión del buceo. Nunca se debe dejar a un compañero solo bajo el agua. Esta coordinación es aún más importante en condiciones de visibilidad restringida y/o alta corriente u oleaje.

Es aconsejable y necesario emerger con por lo menos 500 PSI para poder enfrentar cualquier eventualidad durante el ascenso o acercamiento al bote (corrientes ascendentes o descendientes, corrientes en general, oleaje fuerte en la superficie).

Los buzos siempre deben estar pendientes de su tiempo de fondo (*bottom time*), y acoplarse al perfil de buceo del integrante con menos tiempo. Típicamente, esta sería la persona que monitorea especies sésiles debido a que permanecen, en su mayoría, cerca del fondo durante su trabajo. En cuanto al uso del aire, es importante recordar que forman un grupo y que deben acoplarse al ritmo del consumo de aire de todos sus integrantes.

Es recomendable realizar un máximo de tres buceos al día, realizando la primera inmersión en las primeras horas de la mañana; la siguiente, dos horas después; y la tercera, en horas de la tarde, entre las 14:00 y las 16:00, para evitar regresar en la oscuridad. Durante un viaje, es buena práctica dejar algunos días con menos carga obligatoria de buceo para minimizar la acumulación de nitrógeno.

Al finalizar el viaje, cada integrante deberá dar el mantenimiento apropiado tanto a sus equipos de buceo como de trabajo, reportar cualquier desperfecto en los mismos y volver a almacenar su equipo en el lugar que corresponda.

(Imagen: CC-FCD)



Es importante asegurar que los buzos cuentan con el apoyo de seguridad de buceo adecuado para los sitios en donde trabajaran. (Arriba a bajo; señal de Dive Alert, Radio VHF a prueba de agua con posicionamiento GPS en la superficie; silvato de buceo; luz de emergencia).





Punta Espinoza a 15 m, Fernandina. (Imagen: S.Banks)

LA ORGANIZACIÓN DEL BUCEO CIENTÍFICO EN EL CAMPO

6

Los censos submareales pretenden tomar una imagen instantánea bastante representativa del ensamblaje de especies visibles en cada sitio de muestreo. Se incluye una serie de megafauna y de especies de macroalgas, incluyendo productores primarios, herbívoros, depredadores, omnívoros y detritívoros, desde tiburones ballena, hasta gusanos planos y anémonas. En su mayoría, se colectan datos de abundancia, cobertura, estructura de tallas, composición y diversidad de especies.

Los monitoreos se concentran en tres grandes grupos:

- Peces (ej. tiburones ballena, bacalao, peces bandera, pargos, damiselas, etc.) en 2 pasillos de 50 m x 5 m².
- Organismos sésiles (ej. corales, algas, hidroides, briozoos, gorgonias, anémonas, balanos, etc.) por 10 cuadrantes de 0.25 m².
- Macroinvertebrados móviles (ej. estrellas de mar, erizos, pepinos, moluscos, etc.) en 20 tramos de 5 m x 1 m.

También, si es factible, se incluyen mesogastrópodos (churos pequeños que dejan ver impactos indirectos) como parte de la muestra de especies sésiles.

Es importante recordar que este es un censo visual que no cuenta con las especies crípticas escondidas bajo el arrecife, sino solo con los individuos que un buzo puede ver sin mover las rocas. Las especies crípticas requieren otro tipo de monitoreo aunque están registradas durante las búsquedas dirigidas (que sí involucran observar bajo las rocas) o cuando se realizan inmersiones nocturnas.

Las técnicas empleadas para monitorear cada grupo son distintas y se realizan por personas diferentes (ver secciones 7-10). Generalmente se conforman grupos de tres o cuatro personas y cada persona se especializa en uno de estos grupos de monitoreo y realiza el trabajo de manera consistente para mejorar y mantener la precisión en la toma de datos. En general, nuevos integrantes sin experiencia previa comienzan con macroinvertebrados móviles, siendo el grupo más confiable para empezar y, luego de acostumbrarse al ritmo del trabajo, aprenden por lo menos

"Desde el nacimiento, el hombre lleva el peso de la gravedad sobre sus hombros. Él está atornillado a la tierra. Pero el hombre no tiene más que hundirse bajo la superficie y ya es libre".

Jacques Yves Cousteau



Embarcando equipos de campo. (Imagen: S.Banks)



Arrecife de Marchena.
(Imagen: Graham Edgar)

un grupo de monitoreo diferente. De esta forma es posible contar con reemplazos durante un viaje, en caso de que ocurra cualquier imprevisto y a través de los años, con el intercambio de personas.

Existen varios materiales para entrenar a los buzos disponibles en la FCD, pero la mejor ayuda es la práctica directamente en el campo. En caso de tener nuevos integrantes en el grupo es aconsejable programar por lo menos un día de prácticas en un sitio diverso del campo (como Floreana) e incluir comparaciones entre buzos en el mismo sitio antes de tomar datos de verdad.

Por lo general, los trabajos con peces y grupos sésiles requieren de un mejor consumo de aire y una mayor experiencia en el buceo. Los censos de peces requieren rigor en la estimación de abundancia y tallas, mientras los sésiles requieren un mayor nivel de experticia taxonómica para la identificación de especies *in situ* en sus cuadrantes.

Colocación de transectos

Un análisis del poder del muestreo durante la fase de diseño del monitoreo indicó que capturamos un componente de la diversidad representativa por cada grupo dentro de tramos de 60 m de largo. Por razones logísticas nos quedamos con un transecto de 50 m (largo de cinta de la fábrica) como la unidad mínima de muestreo para la mayoría de los monitoreos. En algunos estudios extendemos los transectos a 100 m de largo para mejorar la detección de ciertas especies de interés comercial pero de baja abundancia como el bacalao *Mycteroperca olfax*, el pepino del mar *Isostichopus fuscus* o la langosta *Panulirus Sp.*

Durante la charla previa a la inmersión (ver sección 5: operación de buceo), se deberá informar al grupo sobre las condiciones del sitio, la longitud del transecto a medir y las personas que estarán encargadas de colocar y retirar las cintas bajo el agua.

Por lo general, el encargado de realizar los monitoreos de macroinvertebrados móviles también se encargará de colocar las cintas; sin embargo, si las condiciones no son las óptimas (ej. fuerte oleaje y corriente) se aconseja asignar esta tarea al buzo con más experiencia o con menor consumo de aire promedio bajo el agua. Asimismo, si el transecto es de 100 m de longitud, la recolección de la cinta en el transecto más profundo deberá ser realizada por el encargado de monitorear sésiles, mientras que la cinta menos profunda deberá ser recogida por la persona encargada de los macroinvertebrados.

Para la mayoría de sitios se debe colocar el transecto, primero a 15 m (45 pies) de profundidad y, luego de retirar el mismo, todos los buzos suben juntos a la segunda profundidad más somera para colocar el transecto a 6 m (18 pies) de profundidad. En todos los casos es importante tener un plan claro y discutido anteriormente entre los integrantes para aclarar quien moverá el transecto. La buena comunicación bajo el agua es clave si llega a ser necesario cambiar los planes durante el buceo. Siempre se debe estar pendiente de lo que ocurre alrededor.

Antes de colocar el transecto se deberá observar el perfil de declive para elegir la mejor trayectoria posible. Características pequeñas que interrumpen la continuidad del trayecto como despeñaderos, fondos de arena u otros elementos topográficos atípicos de los fondos duros, deberán ser atravesadas si su longitud vertical no se extiende más allá de los 2 m, de lo contrario, deberán ser rodeados. Idealmente la cinta debe ser colocada a lo largo del fondo marino y sujeta al substrato desde el principio y en tramos subsiguientes por medio de salientes, rocas u otros promontorios que sirvan para fijar la cinta al fondo marino. Dicha práctica es importante en áreas de oleaje, donde abundan lobos marinos y donde se experimenten corrientes medianas a fuertes. Algunos sitios tendrán indicaciones

sobre el punto de dónde iniciar el transecto y están marcados con varillas y/u otras veces con boyas pequeñas (aunque no duran muchos años). Estos detalles están en la tabla de 'Sites' en la base de datos submarina; sin embargo, los líderes de cada grupo deben conocer bien el perfil de cada sitio. En algunos sitios con mucha arena no es posible encontrar 15 m de profundidad y es necesario colocar el transecto en la franja del arrecife rocoso a 10 - 14m. En estos sitios, la panga debe ubicarse bien para bajar de 12 a 13 m y evitar caer sobre un banco extenso de arena.

Idealmente, la cinta debe ser colocada a lo largo del fondo marino y sujeta al substrato desde el principio y en tramos subsiguientes por medio de salientes, rocas u otros promontorios que sirvan para fijar la cinta al fondo marino.

Las condiciones en cualquier sitio pueden variar rápidamente, incluso durante un buceo en algunos de los lugares más expuestos. Si se siente oleaje a 15 m de profundidad es bastante probable que el transecto a 6 m será movido. En tales casos el transecto puede ser colocado a 7-8 m (20-25 pies) de profundidad. Recuerde que la cinta del transecto es solo una referencia visual de longitud para tener unidades de muestreo estándar y no ayuda mucho si no se pueden sacar buenos datos. De ser necesario, cada buzo deberá considerar las condiciones de corriente u oleaje y adaptarse a ellas. Los buzos trabajando con cuadrantes para las especies sésiles pueden subir un poco más arriba de la cinta del transecto o colocar su cuadrante más cerca de los 6 m según su experiencia y comodidad en el agua. Si es muy difícil trabajar y sacar buenos datos se puede bajar y trabajar a 7 - 8 m. A veces, una diferencia de 1 m reduce la resaca considerablemente. En el caso de que las condiciones sean demasiado exigentes para el grupo, el líder del grupo indicará si deben salir juntos y subir tranquilamente o simplemente hacer un registro de presencia de especies para cada grupo de monitoreo.

Sobre todo, se debe respetar la seguridad de buceo y salir del agua con >500 PSI de aire. Siempre existe la posibilidad de cambiar tanques si fuese necesario, o pedir a un compañero que todavía tenga aire que ayude a retirar el transecto. El perfil de buceo para el monitoreo está programado de tal modo que el riesgo de enfermedad de descompresión se minimice durante y entre los días de inmersiones repetidas. En general, no se debe pasar más de 30 minutos trabajando en el transecto a 15 m y se debe terminar de trabajar, por lo menos, de 20 a 30 minutos en una profundidad de 6 m, beneficiando la seguridad en cuanto a la absorción y eliminación de nitrógeno.

Cualquier observador (e incluso los integrantes del monitoreo) deben respetar a la gente que aún se encuentre tomando datos. En caso de que algún participante esté aprendiendo técnicas de monitoreo o buceo, es buena práctica tener dos personas trabajando juntas en el censo de macroinvertebrados y/o colocando el transecto. Si el sitio es muy movido o de difícil acceso para trabajar (como una pared vertical expuesta) ayuda el tener un cuarto buzo por grupo que contribuya a colocar bien el transecto para que los demás puedan concentrarse en su recolección de datos.

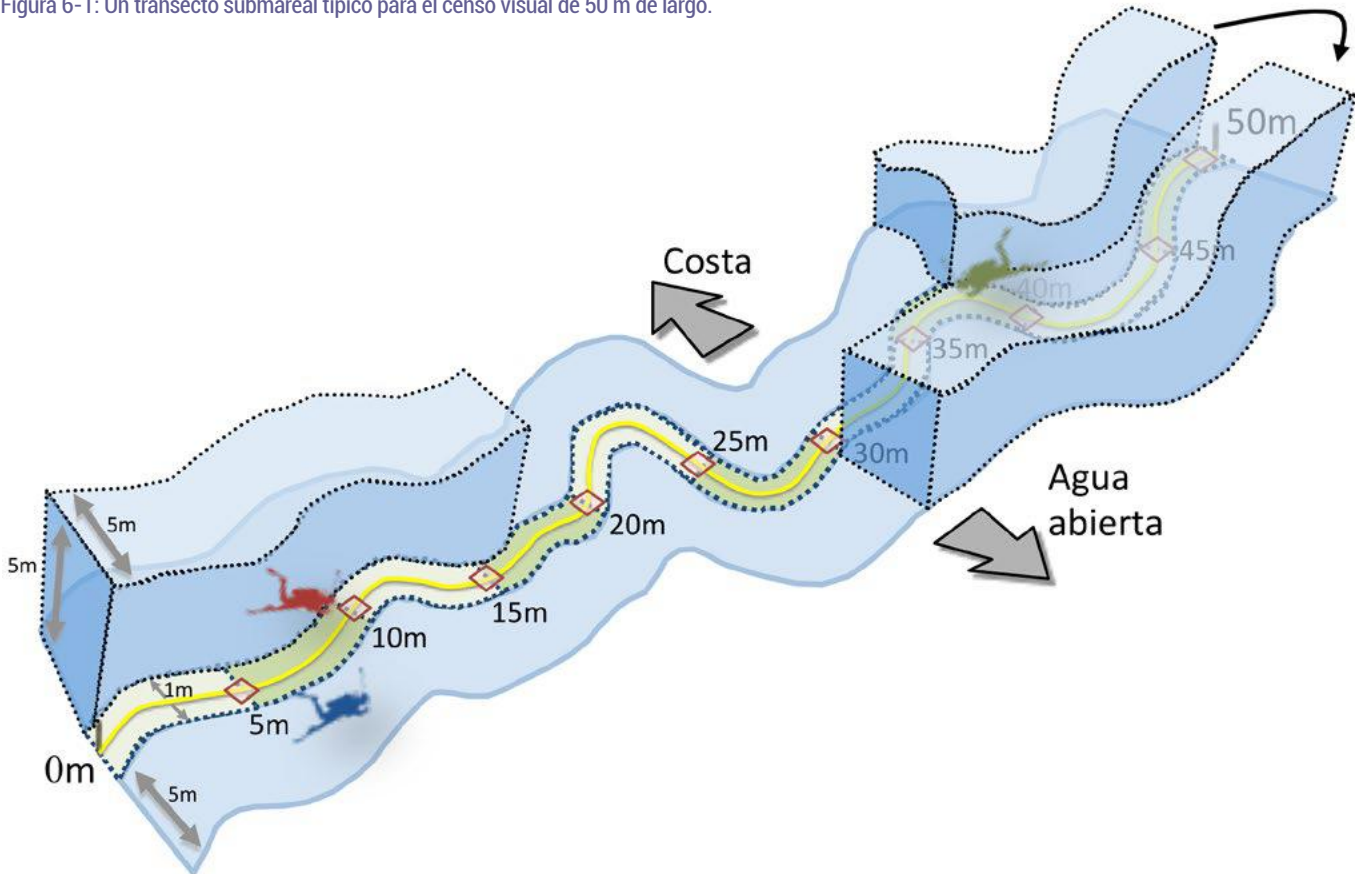
En cada transecto, cada buzo debe registrar las condiciones del buceo en su hoja de datos indicando con claridad el sitio, su nombre, la fecha, la hora, la temperatura, el oleaje y la corriente. Posteriormente, esta información se ingresará en la base de datos entre las hojas de '*Dive*' y '*Transect*'. Como buena práctica, cada buzo deberá mantener un contacto visual con sus compañeros y, en lo posible, estar listo para poder asistir a los miembros de su equipo en caso de que sea necesario. Finalmente, debe asegurarse que la hoja de datos esté siempre bien colocada y firmemente asegurada para evitar la pérdida del arduo trabajo que se hizo bajo el mar, sobre todo durante la salida del agua a la panga.



Arrecife de Marchena.
(Imagen: A Graham Edgar)

Un transecto típico está descrito en la figura 6-1. El buzo de macroinvertebrados (verde) ha ubicado el transecto a una profundidad uniforme y regresa desde los 50 m hasta el inicio del transecto por el lado costero. El buzo que está contando peces (azul) inicia su primer tramo de 5 m x 5 m desde el lado de agua abierta hacia el lado opuesto del transecto, lo cual minimiza la interferencia con el censo visual. A su regreso, ambos buzos intercambian los lados. El buzo de peces debe dejar un espacio de 2 m entre los 2 tramos de 50 m x 5 m para evitar la pseudoreplicación de datos. El buzo que trabaja con organismos sésiles coloca su cuadrante cada 5 m desde el inicio y termina cuando llega a los 50 m. Normalmente, ambos buzos se cruzan entre ellos dos veces durante la ida y la vuelta y terminan juntos para dirigirse a la próxima profundidad o a la superficie.

Figura 6-1: Un transecto submareal típico para el censo visual de 50 m de largo.



(Imagen: S. Banks)





Posible *Corallimorphus* sp. 12 m, Punta de Seymour. (Imagen: Rafael Rallardo)

MACROINVERTEBRADOS SÉSILES Y ALGAS

7

Los organismos bentónicos sésiles son un componente importante y conspicuo dentro de las comunidades marinas. Por su forma de vida sedentaria, estos organismos son buenos indicadores de las condiciones locales imperantes, de los cambios físicos y biológicos, y de aquellos efectos producidos por fenómenos naturales o por perturbaciones de origen humano. Los organismos bentónicos sésiles incluyen algas, esponjas, anémonas, hidroides, corales blandos, corales duros, cirripedios, briozoos, entre otros.

Para los organismos bentónicos, el espacio es un recurso absoluto por el cual tienen que competir y adoptar estrategias para sobrevivir y evitar ser depredados. Su presencia o ausencia constituye un buen indicador de los procesos biológicos y abióticos imperantes, ya sean resultado de la competencia, de las interacciones con sus predadores o con sus presas, o de efectos a gran escala como patrones de circulación de corrientes, eventos de reclutamiento, temperatura, etc.

Para conocer la riqueza de especies y la abundancia de organismos sésiles, se determina el grado de uso del sustrato por medio del porcentaje de cobertura. Este método no es invasivo y es fácil de aplicar: se determina, de forma directa, por medio del buceo *Scuba* y del uso de cuadrantes y de áreas muestrales, o en forma indirecta, por medio de cámaras de vídeo o fotográficas.

Los cuadrantes son construidos de PVC, tienen una dimensión de 0.25 m² (50 cm por lado cuadrado) y están divididos por una rejilla que cuenta con 81 puntos de intersección (figura 7-1). Estos cuadrantes se colocan de forma sistemática, a intervalos de 5 m, a lo largo de un transecto fijo sobre el fondo marino (figura 7-2). El número de cuadrantes fue establecido con base en un balance entre el tiempo de inmersión y la curva de saturación de especies. Típicamente, hay 10 cuadrantes en un transecto de 50 m de longitud.

Figura 7-1: Un cuadrante de PVC con 81 puntos de intersección cada 5 cm en un área de 0.25m².



La gorgonia *Leptogorgia alba* a 20 m de profundidad en el Arco de Darwin, Isla Darwin. (Imagen: A. Chiriboga)

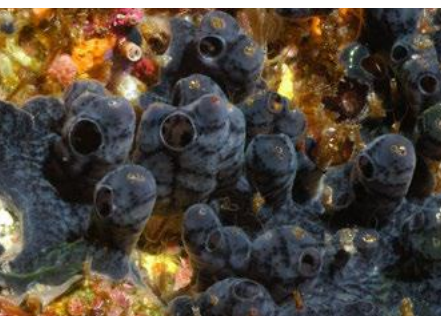
Figura 7-2: Posición del cuadrante a lo largo de la cinta.



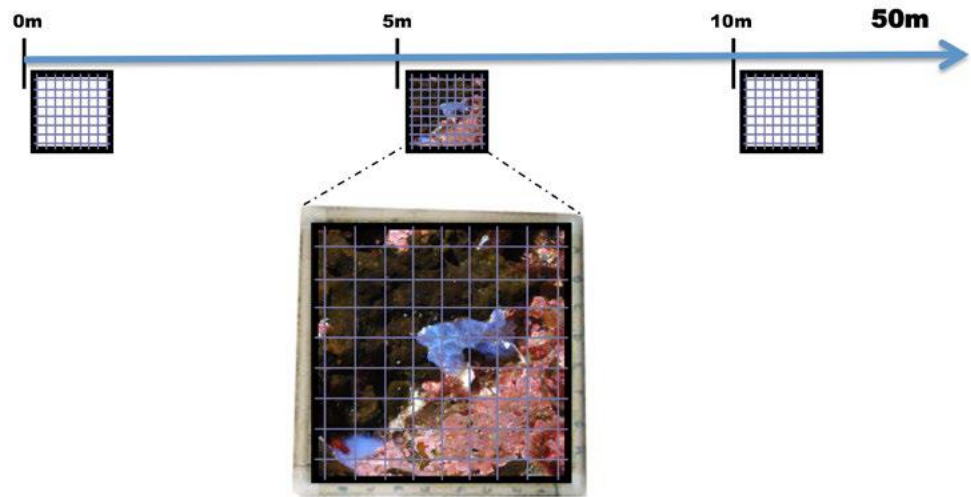
Cama de alga café, *Dictyota sp.*
(Imagen: G. Edgar)



Anemona, *Bunodosoma grandis*
(Imagen: G. Edgar)



Tunicado, *Didemnum sp.* (Imagen: G. Edgar)



Para la toma de muestras de estos organismos se eligió una metodología basada en puntos de intercepción por varias razones. Al inicio del monitoreo, la base taxonómica de las especies sésiles era menos conocida comparada con los grupos de peces y macroinvertebrados móviles. Para mejorar el inventario de especies, reconocer y valorar el rol de la biodiversidad, evaluar la llegada de especies invasoras y averiguar posibles extinciones o disminución de poblaciones, primero era necesario saber qué existe. El método de intercepciones sirve para que el buzo investigador ponga su atención de forma sistemática en los organismos particulares bajo cada cruz del hilo para su debida identificación. Por el contrario, métodos que solo utilizan el porcentaje de cobertura por cuadrillas no tienen la misma resolución taxonómica y son más eficientes sobre substrato marino más homogéneo, como corales pétreos.

En comparación con sitios en otras partes del Pacífico Este Tropical que reciben más atención de muestreo sobre arrecife coralino, la cobertura de sésiles sobre el arrecife rocoso es particularmente diversa en las islas, en especial, en sitios de corrientes fuertes como paredes verticales. Durante los años 1994 a 2014 se ha trabajado constantemente para mejorar la taxonomía de grupos sésiles y aún es necesario continuar asesorándose con la ayuda de expertos (ver tabla 2-1 en sección 2). Aunque este monitoreo requiera de un alto nivel de identificación taxonómico, gran parte del análisis está enfocado en grupos funcionales (ej. alga café no identificada, esponja amarilla, etc.) lo cual asegura una cierta retrocompatibilidad de los datos de años anteriores en su análisis.

Durante los años 1994 a 2014 se ha trabajado constantemente para mejorar la taxonomía de grupos sésiles y aún es necesario continuar asesorándose con la ayuda de expertos.



Coral negro, *Antipathes galapagensis*
(Imagen: G. Edgar)

En cada cuadrante se deben anotar a todas las especies observadas. En el extremo izquierdo de la hoja se escribe el nombre del organismo, a menudo abreviado por seis letras: tres que corresponden al género y tres a la especie (figura 7-3). Estos códigos corresponden a la lista de especies dentro la base de datos submarina de la FCD.

Si una especie no es identificada se recomienda hacer un bosquejo del organismo, acompañado de una descripción morfológica e historia de vida. Se deben considerar los siguientes elementos:

1. Forma de crecimiento (incrustante, ramificada, erecta).
2. Color.
3. Textura.
4. Substrato sobre el cual crece.
5. Datos físicos (profundidad, temperatura, fuerza del oleaje, presencia de corrientes).

Sitio: 1528	GPS:	Hora: 07:00	Prof: 15	Visi: 4	Temp: 22	Corr: -	Ole: -			
Zona:	Fecha: 14/13	Buzo: 25	Prof: 6	Visi: 3	Temp: 21	Corr: -	Ole: L			
Especies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
Litho SPP	R/V	R	S/R/H	11/R	6/V	3/9/R	7	11/3	R	8/V
SPP How	2/1		1/1	1/2				1/3		8/V
RIT SPP	2	2/1	3/1	1/1	1/4		3/1		4/1	
H.P. Ver	2/1	3	3/1	1/4	1/3	1/1	9/1	1/2	5/4	1/2
Higi. SPP	2/1									
San	7/1	4/R	3/V	R/11/8/1/1			1/R	5/V	R/1	R/3
Fil. Reb	2/1							1/3		
RHY ROS	1/1	2/1		1/1	1/2		2/1	1/3	1/3	1/3
TUB. COR. POR	1/1						1/1			
• Col. H. OR	1/1		1/1		1/1			1/2	1/1	
• Lat. SAN	1	1/1		1/1						1/2
• Lat. TUB	1									
MUS SPP		2/1		4/1	4/1	10/1	5/1	R/1	1/8	3/1
- POS SPP		5/1	4/1	1/1	1/2					
• Cns. H. OR	1/2	3/1						1/3	1/1	
Sar. H. OR		1/1								
Did. SPP	1/2		1/4	6/1			1/1	3/1	1/4	3/2
Cris. SPP	1		1/1	1/1				2/1		
Cle. POR			1/1		1/1					
RHO. CAR	1/6	1/2	1/1	2/1	1/1	2/1		6/2	1/4	3/1
Am. SPP				1/1	1/1	2/1	4/1	5/4	4/1	7/1
ROC		1/8	3/5			1/2	1/1			
PIU. FLO				1/1					1/2	
POL. ECW	1/2				1/1	1/1				
• Can. MIX				1/1	1/1					
ROC. SAN				1/2	1/1		1/4			
Pod. SPP							2/1	1/2		
Dos. Baisti			1/3	1/3			3/4		1/5	
Did. IND								3/1	1/1	
Hem. SPP								1/1		
Auf. IND								1/1		
Est. INT								1/1		
Pa. VER								1/1		
• Car. JAN								1/2		
Gel. HAN			1/3				1/5		1/3	
• Chiron	1/2	1/2							2/1	
UVS. SPP	1/2	1/2	1/2			1	1/6	1/1	1/2	1/2
Sar. DIV	1/4									
Pol. SPP	1/5									
Cys. SPP	1/2									
• Tub. SPP	1/2								1/2	1/1
Sar. SPP		1/3	1/3		1/2	1/4	1/5			
COB			1/3					1/4		
HYP. SPP			1/4					1/3	1/3	1/2
Bur. GRA			1/4		1/1			1/2	1/2	1/2
AMV. GUL								1/2	1/2	1/2

Figura 7-3: Ejemplo de una hoja de datos de campo para las especies sésiles invertebradas y algas. La hoja está dividida en 10 columnas que representan cada cuadrante con cada caja por especie, dividida (con /) para distinguir entre los dos transectos a 15 m y 6 m de profundidad.



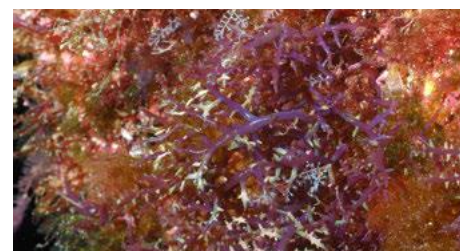
Esponja amarilla, *Aplisina* sp. (Imagen: G. Edgar)



Anemona, *Antiparactis* cf. *lineolatus* (Imagen: J. C. Moncayo)



Alga café *Padina* sp. (Imagen: G. Edgar)



Alga roja, *Gelidium* sp. (Imagen: G. Edgar)

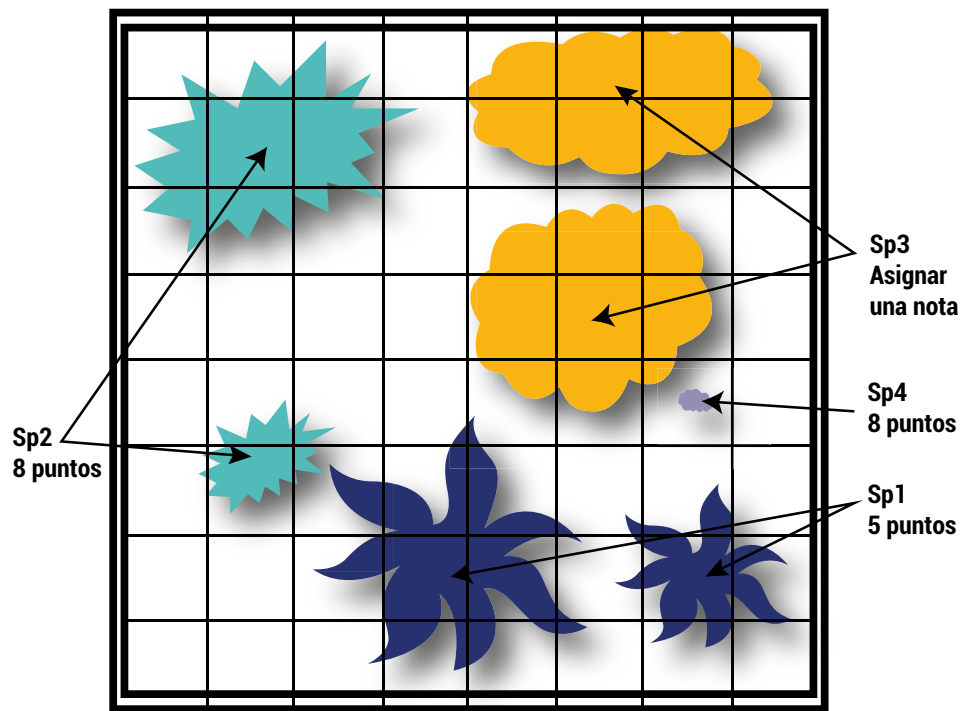


Hidroide, *Nemalécium* *lighti* (Imagen: G. Edgar)

Aquellos organismos que no pudieron ser identificados bajo el agua deberán ser colectados para su posterior identificación y, si es pertinente, para calcular su biomasa. Si es posible, cada grupo de monitoreo debe tener por lo menos una cámara para tomar fotos *in situ* para complementar cualquier colección. Los individuos coleccionados deben ser etiquetados según los lineamientos para las colecciones marinas (ver sección 17).

Para determinar la abundancia de una especie se evalúa el número de intersecciones que cubre cada tipo de organismo presente en el cuadrante (figura 7-4). Si algún organismo está presente pero no coincide con los puntos de intersección, se le asigna una nota para documentar su presencia dentro del cuadrante. Esto depende de si se cuenta con el tiempo suficiente (considerando que las repeticiones deben ser suficientes para que representen la biodiversidad). Los organismos son clasificados como especies o dentro de grupos funcionales de acuerdo con el nivel de conocimiento taxonómico (ej. algas foliosas, algas filamentosas, algas rojas, algas verdes, algas incrustantes, corales blandos, corales duros, etc.).

Figura 7-4: Cuadrante de PVC con sus respectivas estimaciones de abundancia por especie.



Pueden existir dos niveles de cuantificación:

1. Substrato primario: corresponde a la primera capa de organismos que se asienta sobre el fondo marino. Se lo conoce como epibentos y es el sustrato que ha sido cuantificado de manera consistente durante nuestros monitoreos de la línea base.
2. Substrato secundario: es aquel que crece sobre otros organismos. Esta capa de organismos denominada epibiótica no es tan conspicua en Galápagos como en las zonas templadas donde existe un crecimiento abundante de macroalgas (bosques de Kelp), sin embargo, siempre están presentes, creciendo principalmente sobre balanos, algas incrustantes, algas foliosas, etc.

Algunas observaciones sobre la toma de datos

- Antes de realizar el conteo, anotar todas las especies presentes en el primer cuadrante.
- Asignar un valor 'R' a la especie más abundante, pero tener cuidado de no subestimar su representatividad al asignar valores reales a las otras especies. Luego se puede ingresar 'R' o 'Resto' en la hoja de ingreso de datos sésiles para que se calcule automáticamente este valor.
- En caso de existir sedimento sobre el fondo marino, tratar de removerlo agitando suavemente la superficie con la palma de la mano, esto permitirá un mejor reconocimiento de las especies presentes.
- Registrar primero las especies más raras.
- Distinguir entre coral blanqueado y balanos vivos o muertos. Por ejemplo, cada uno tuvo un código diferente en la base de datos de la FCD que termina con *B o *M (ej. PavCla*B para *Pavona clavus* blanqueado).
- Colocar el código de cada especie en el lado izquierdo de la hoja de campo inmediatamente después de finalizar la inmersión.
- La política de los viajes de campo es ingresar los datos en una base remota submarina lo más pronto posible, mientras los detalles aún están presentes en la memoria.



Tunicado *Aplidium* sp. y poliqueto colonial *Salmacina tribranchiata* (Imagen: M. Vera)



Coral suave, *Heterogorgia Hickmani* (Imagen: M. Vera)

- Anotar cualquier observación de especies crípticas en el transecto (ej. caballo de mar o pez pipa) y nudibranquios (babosas de mar) para luego transmitir a los buzos que estén trabajando en los otros grupos de taxa.
- Normalmente, el buzo que trabaja con sésiles también realiza el conteo o colección de mesogastrópodos dentro los mismos cuadrantes (ver sección 10).

Otras consideraciones

Para determinar la biomasa de una especie o de un grupo funcional a partir de la cobertura, se coloca un pequeño cuadrante sobre el fondo marino en un área determinada (1x1, 5x5, 10x10 cm) y con un cincel o espátula se raspa el fondo y se colecta la muestra usando un método de succión al vacío. Posteriormente, se puede extrapolar la biomasa al establecer una relación entre el peso de la muestra colectada y la cobertura de dicha especie o grupo funcional. La relación entre el porcentaje de cobertura y la biomasa puede ser lineal o cuadrática, dependiendo de la estructura vertical de cada especie.

Otro método más rápido y eficiente en el campo para determinar el porcentaje de cobertura es el muestreo con cuadrantes fotográficos fijos (Foster, et al. 1991). Los patrones de diversidad de especies se determinan al tomar fotos de cuadrantes normalmente de 0.25 m². Para esto, se utiliza un lente de 15 mm y el equipo fotográfico se coloca sobre un marco de aluminio fijo a una distancia de 30 cm con respecto al sustrato (Smith y Witman, 1999) para que la imagen tenga una resolución lo suficientemente buena para identificar organismos mayores a 2 o 3 mm. (Foster et al 1991 Witman, 1985). Una vez revelado el *film*, las imágenes se proyectan sobre papel blanco con el extremo de la imagen sobre un marco rectangular dividido en 100 cuadrículas. Finalmente, el porcentaje de cobertura se determina, al igual que en el campo, al contar el tipo de organismo que coincide con la intersección de cada cuadrícula (Foster et al, 1991, Witman et al., 1985).

Avances recientes utilizan cámaras digitales por su facilidad para manipular imágenes y para aplicar el uso de programas multispectrales que pueden apoyar en el análisis de grandes cantidades de imágenes con un respaldo estadístico (MultiSpec, Purdue University, IL/ CPCE, Nova University).

Sin embargo, el método de cuadrantes fotográficos no es eficiente para determinar la abundancia de organismos sobre fondos cubiertos por algas foliosas densas que tapan a otros organismos (Foster, et al, 1991; Witman, 1985) porque subestiman la megafauna ampliamente dispersa (Smith y Witman, 1999). Sin embargo, este puede ser un método complementario al anterior, sobre todo para realizar comparaciones del paisaje a lo largo del tiempo y tener un registro visual permanente del sustrato estudiado. Algunas de estas técnicas están descritas en la sección 16.

Caleta Tagus a 6 m, Isabela. (Imagen: S.Banks)



Durante la toma de datos de organismos sésiles, es buena practica anotar si se encuentran especies de macroinvertebrados móviles pequeños o peces crípticos/ camuflados como nudibranquios, liebres de mar, langostas, caballos de mar y pez pipa. Estas especies no siempre están registradas por los demás miembros del equipo trabajando sobre áreas mas amplias, pero pueden incluirlos como presentes en sus datos.



Poliqueto arbol de navidad, *Spirobranchus giganteus* (Imagen: M. Vera)



Nudibranquio Doridaceo no identificado (Imagen: D. Ruiz)



Nudibranquio, *Tambja mullineri* (Imagen: G. Edgar)



Cabrilla, *Epinephelus labriformis* (Imagen: R. Gallardo)

8

PECES DEMERSALES DE ARRECIFE Y VERTEBRADOS MARINOS

"Sé un pez. Desarrolla tus branquias con tu trabajo, tu promedio de consumo de aire podría mejorar. Aprende a flotar en la columna de agua, a escribir mientras luchas contra la corriente..."

Lauren Garske-García
Ex voluntaria FCD-Biomar

A diferencia del censo de macroinvertebrados móviles y sésiles, el monitoreo de peces requiere de un mayor énfasis en la estimación visual de la abundancia y diversidad de individuos. Por tal razón, es importante que los buzos que trabajan en cada equipo durante el monitoreo comparen sus estimaciones de talla y abundancia relativa. Por ello, ambos grupos deben trabajar en sitios cercanos y aparejados que constituyan réplicas con condiciones similares. En general, hemos intentado mantener a los mismos buzos para el censo de peces para limitar, en lo posible, errores humanos en el censo visual.



Lenguado, *Bothus mancus*. (J.C. Moncayo)



El cachudo de cola roja *Xanthichthys mento*
(Imagen: G. Edgar)

Puede suceder que la cantidad y diversidad de peces en un sitio sea espectacular e incluso abrumadora. Esto conlleva un cierto desafío para capturar de manera representativa la comunidad de peces en el sitio. Sin embargo, con práctica y siguiendo algunos pasos sencillos, es muy factible realizar un buen conteo de peces de manera sistemática. También puede ayudar la comparación de los datos con los de alguien con mayor experiencia y respirar profundamente antes de empezar.

Para la identificación de las especies de peces de Galápagos, los libros más útiles para una consulta rápida son *Reef Fish Identification: Galápagos* (2^{da} edición) por Paul Humann (2003) y *Fishes of the Tropical Eastern Pacific* por STRI (Gerald R. Allen y D. Ross Robertson, 1994), los cuales también vienen en formato electrónico actualizado para instalar en el computador. La referencia más completa es *Fishes of Galápagos* por Jack S. Grove y Robert Lavenberg (1997), y es útil para aclarar referencias en el laboratorio y para profundizar en averiguaciones entre especies parecidas o poco comunes (incluye historia natural). En general, Allen y Robertson (1994) brindan una información precisa y útil, incluyendo una lista de especies de la región, y es relativamente fácil consultar en el campo.

La unidad mínima de muestreo para peces es un tramo de 50 m de longitud, lo cual está referido como un 'Bin' en la base de datos. Cuando los transectos solo tienen 50 m de longitud, el lado de la cinta que está expuesto al agua azul se denomina Bin 1, mientras que la parte en el lado de la costa se denomina Bin 2.

Por ejemplo, si los transectos son de 100 m, hay 4 Bins de 50 m de largo distinguidos por B1 -4. En casos particulares se debe anotar cuál Bin corresponde con qué tramo y con qué profundidad en las notas del formulario de 'Dive' en la base de datos remota.

Por lo general, los transectos son de 50 m de largo y el buzo que cuenta peces inicia su transecto por el lado expuesto al mar a 15 m de profundidad (Bin 1). Este es el lado opuesto al del buzo que realiza monitoreo de macroinvertebrados móviles. Esta medida reduce la perturbación que la presencia de buzos causa a los peces y mejora las posibilidades de registrar especies pelágicas (ej. jureles), que suelen entrar a la zona de monitoreo por las aguas abiertas y la transitan rápidamente.

El área de monitoreo se establece al formar un túnel imaginario de 5 m a cada lado de la cinta y 5 m por encima del fondo marino dentro del cual se registran y se cuentan las especies de peces presentes (figura 8-1). En el caso de paredes verticales, la amplitud se transforma para incluir a todas las especies presentes por debajo y por encima del transecto en un radio de 5 m a cada lado. La tercera dimensión se añade al incluir a todas las especies presentes en una extensión de 5 m perpendicular al transecto. De esta manera, en cada sitio el investigador coleccionará datos para peces en un espacio de 10 m de ancho, por 5 m de alto y 50 m de largo, formando dos túneles en cada profundidad de 2500 m³ en total. Cada sección de 1250 m³ es considerada como una réplica del transecto, aunque se quiere evitar que sean psuedorélicas.

Se intenta reducir este efecto manteniendo una distancia de 2 m entre los 2 tramos. El mismo transecto es empleado para contabilizar organismos sésiles y macroinvertebrados móviles por otro buzo del equipo. En el caso de los transectos de 100 m (normalmente solo para peces), se realizan cuatro réplicas de 5 m x 5 m x 50 m en cada profundidad, dando un total de 10 000 m³ muestreados. La interpretación de la banda de ancho y la altura de cada transecto debe ser verificada en tierra hasta que el investigador sea consistente de la estimación del área. La ejecución de cada transecto de 5 m x 5 m x 50 m le tomará al investigador entre veinte y treinta minutos, dependiendo de la abundancia y diversidad de los peces y de la estructura del sustrato en cada sitio.



Damisela cola amarilla, *Stegastes arcifrons*
(Imagen: G. Edgar)



Caga Leche, *Dermatolepis dermatolepis*
(Imagen: G. Edgar)



Morena cebra, *Gymnomuraena zebra*
(Imagen: G. Edgar)

Figura 8-1: Muestreo de peces demersales por 2 pasillos de 5 m x 50 m². El buzo utiliza la cinta como referencia pero debe estimar el límite de 5 m de monitoreo y mantener una distancia de 2 m entre los tramos de ida y vuelta (B1 y B2) para evitar la psuedoreplicación en el sitio.

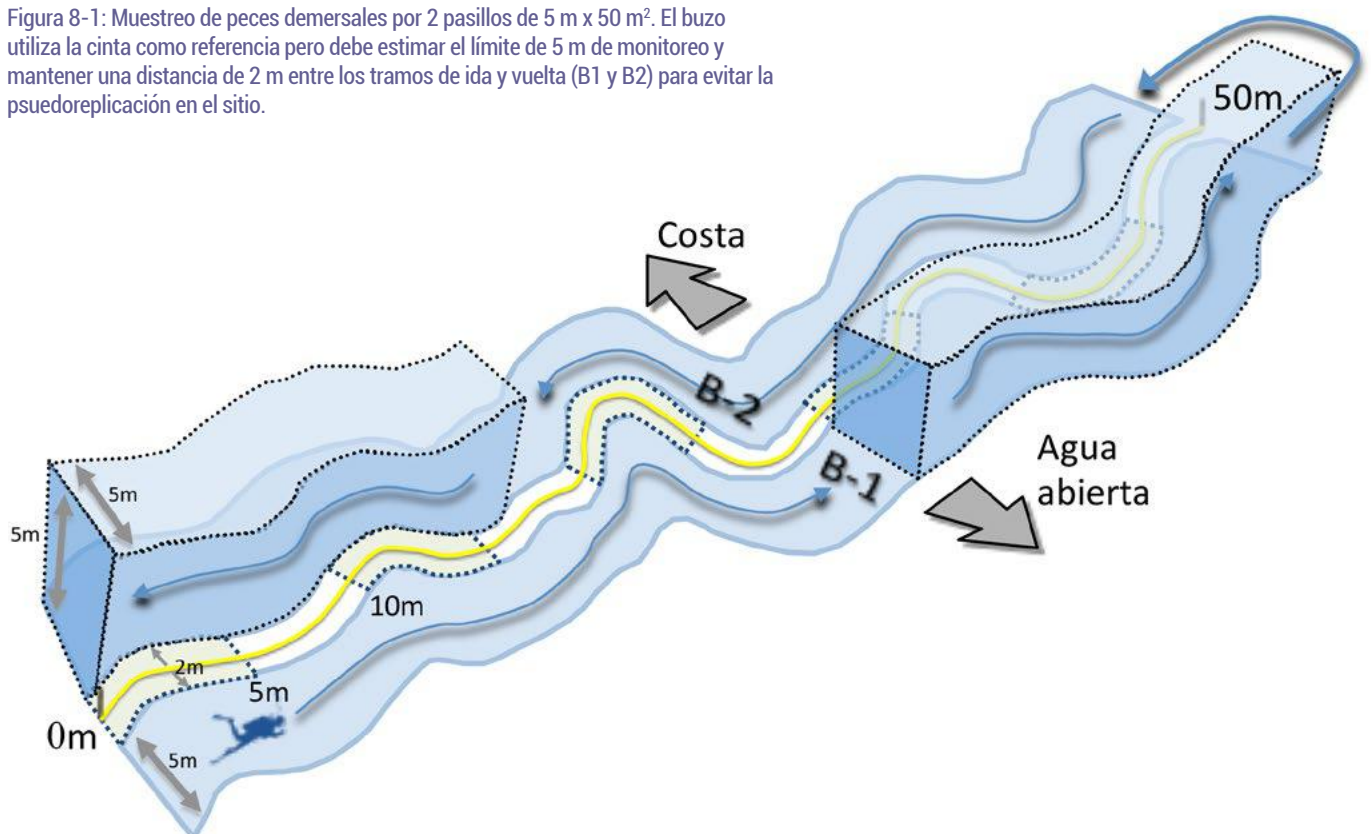


Tabla 8-1: Intervalos de tallas aplicados para el monitoreo de peces con su referencia en la base de datos submarino.



Pez brujo, *Scorpaena mystes*
(Imagen: R. Gallardo)



Tambulero, *Sphoeroides angusticeps*
(Imagen: R. Gallardo)



Candil, *Sargocentron suborbitalis*
(Imagen: G. Edgar)



Cardumen de Gringos, *Paranthias colonus*
(Imagen: G. Edgar)

Tallas (cm) base datos	Rango (cm)	Tallas (cm) base datos	Rango (cm)	Tallas (cm) base datos	Rango (cm)
1	0 - 1.0	30	25.1 - 30.0	110	100.1-110.0
2.5	1.1 - 2.5	35	30.1 - 35.0	125	110.1 - 125.0
5	2.6 - 5.0	40	35.1 - 40.0	150	125.1 - 150.0
7.5	5.1 - 7.5	50	40.1 - 50.0	175	150.1 - 175.0
10	7.6 - 10.0	60	50.1 - 60.0	200	175.1 - 200.0
12.5	10.1 - 12.5	70	60.1 - 70.0	225	200.1 - 225.0
15	12.6 - 15.0	80	70.1 - 80.0	250	225.1 - 250.0
20	15.1 - 20.0	90	80.1 - 90.0	275	250.1 - 275.0
25	20.1 - 25.0	100	90.1 - 100.0	300	275.1 - 300.0

Registrando la riqueza y densidad de peces demersales

Por orden de importancia, el buzo debe fijarse primero en el registro de diversidad de peces, luego en su cantidad dentro el transecto y, por último, en sus tallas. Normalmente, con la práctica y los buceos dedicados a la calibración entre observadores, es posible llegar a valores comparables y reproducibles entre buzos. A pesar de que siempre apuntamos al nivel más alto de precisión en la colección de información, aceptamos que solo somos humanos, y el análisis multivariado de los datos comunitarios aplica técnicas estadísticas que reducen el efecto de errores moderados en las estimaciones por la conversión logarítmica o raíz cuadrada de los datos de abundancia.

En la actualidad, intentamos registrar todas las especies, incluyendo especies pequeñas y crípticas. El motivo es coleccionar información sobre la riqueza –aún algunas especies son excluidas de los análisis cuantitativos de abundancia debido a la improbabilidad de su detección consistente–. Un buzo puede detectar un pez escorpión o un caballo de mar camuflado sobre el substrato, pero la probabilidad de contabilizar cada uno de ellos dentro del transecto es muy reducida. En estos casos, una indicación de la presencia de estas especies puede proveer información cualitativa válida. Tales detalles de presencia de especies crípticas son tomados en cuenta para un análisis posterior. Por esta misma razón, es importante registrar cualquier especie presente en el sitio en cada profundidad, independientemente de si están dentro o fuera de las dimensiones del transecto establecidas. Para mantener un registro sistemático de la abundancia relativa, normalmente el buzo trabaja anotando todo lo que ve en intervalos de 10 m (o menos, si la visibilidad es menor), y solo hasta el límite de 5 m por fuera del transecto. En el caso de que haya muchos cardúmenes mezclados, es útil primero hacer una lista de las especies visibles, fijándose primero en los pelágicos y transitorios que no son territoriales dentro del transecto mismo, y luego hacer estimaciones por tallas.

Para mantener un registro sistemático de la abundancia relativa, normalmente el buzo trabaja anotando todo lo que ve en intervalos de 10 m (o menos, si la visibilidad es menor), y solo hasta el límite de 5 m por fuera del transecto.

Para todas las especies registradas dentro del transecto se estima la estructura de tallas. La dimensión calculada representa la longitud total de un pez, comprendida entre la punta del hocico hasta el extremo más alejado de la cola. Los tamaños de clase usados inician con los juveniles de menos de 1 cm hasta 3 m para los tiburones. En casos excepcionales (tiburón ballena de 18 m, orcas o hasta calamar gigante en el transecto) se anotan los detalles en los comentarios del buceo.

Tabla 8-2: Rangos típicos de tallas para una selección de peces comunes.

Especies	Nombre común	Moda (Rango)
<i>Anisotremus interruptus</i>	Zapatilla	25 (20-30)
<i>Apogon atradorsatus</i>	Cardenal punta negra	7.5 (1-10)
<i>Bodianus diplotaenia</i>	Vieja ribeteada	30 (1-50)
<i>Chaetodon humeralis</i>	Mariposa de tres bandas	12.5 (7.5-15)
<i>Chromis atrilobata</i>	Castañeta cola de tijera	10 (5-12.5)
<i>Cirrhichthys oxycephalus</i>	Halcón de coral	7.5 (5-10)
<i>Cirrhitus rivulatus</i>	Carabalí	25 (20-35)
<i>Coryphopterus urospilus</i>	Gobio luz roja	5 (2.5-7.5)
<i>Epinephelus labriformis</i>	Cabrilla piedrera	30 (12-50)
<i>Girella freminvillei</i>	Chopa penumbra	35 (20-40)
<i>Halichoeres dispilus</i>	Vieja camaleón	7.5 (2-20)
<i>Halichoeres nicholsi</i>	Vieja soltera	25 (10-40)
<i>Holacanthus passer</i>	Pez bandera	25 (10-40)
<i>Johnrandallia nigrirostris</i>	Mariposa barbero	12.5 (5-15)
<i>Labrisomus dendriticus</i>	Trambollo bravo	12.5 (5-15)
<i>Lepidonectes corallicola</i>	Trambollito triple aleta de Galápagos	5 (2.5-7.5)
<i>Lythrypnus gilberti</i>	Gobio de bandas azules de Galápagos	2.5 (1-2.5)
<i>Microspathodon dorsalis</i>	Damisela gigante	25 (20-30)
<i>Mycteroperca olfax</i>	Bacalao	50 (30-70)
<i>Ophioblennius steindachneri</i>	Borracho Mono	15 (5-25)
<i>Paranthias colonus</i>	Gringo	20 (5-30)
<i>Plagiotremus azaleus</i>	Trambollito diente de sable	7.5 (5-10)
<i>Prionurus laticlavus</i>	Cochinito barbero	25 (15-40)
<i>Scarus ghobban</i>	Loro barba azul	40 (35-60)
<i>Serranus psittacinus</i>	Serrano	12.5 (5-20)
<i>Stegastes leucurus beebei</i>	Damisela cola blanca del norte	15 (1-20)
<i>Sufflamen verres</i>	Cochito naranja	30 (15-40)
<i>Thalassoma lucasanum</i>	Vieja arco iris	5 (1-12.5)
<i>Zanclus cornutus</i>	Ídolo moro	15 (12.5-20)

Los valores se redondean al inmediato superior; por ejemplo, si un pez mide 1.5 cm, su tamaño será registrado dentro de la clase de talla 2.5 cm. Estimar las tallas puede ser un reto, por lo tanto se recomienda el uso de una técnica no invasiva de verificación con medidas de referencia que puedan ser usadas bajo el agua. El conocer las dimensiones de la tabla de datos, de la distancia entre el pulgar y el dedo índice extendidos, y de la distancia entre el hombro y la mano opuesta cuando el brazo está extendido hacia un lado para formar un plano, constituyen buenas referencias. Esto elimina el tener que transportar equipo adicional bajo el agua y provee un marco de referencia adecuado para la verificación de tallas que pueden ser estimadas de forma equivocada fácilmente debido a la magnificación de tamaño provocada por el medio. La tabla 8-2 incluye una lista de algunas de las especies más comunes y sus rangos de tamaño típicos.

Información adicional que debe ser incluida en cada hoja de datos incluye el nombre del sitio, la fecha, el nombre del buzo, el tipo de zona (extractiva, no extractiva), el tiempo de inicio de la inmersión, la visibilidad, la fuerza del oleaje, la fuerza de la corriente y la temperatura. Los últimos cuatro elementos deben ser registrados, y normalmente son responsabilidad del coordinador de cada grupo. La visibilidad debe ser determinada como la distancia entre un punto dentro del transecto y el



Cardumen de Chopa penumbra, *Girella freminvillei* (Imagen: R. Gallardo)



Damisela cola blanca, *Stegastes beebei* (Imagen: G. Edgar)



Trambollo bravo, *Labrisomus dendriticus*
(Imagen: R. Gallardo)



Pez gallineta de Galápagos,
Prionotus miles (Imagen: R. Gallardo)

punto más lejano a partir del cual se puede identificar claramente a un pez de 15 cm de longitud; en este caso, las sombras no son válidas. Incluir el nombre de otros buzos dentro del grupo puede ser útil cuando se necesita juntar los datos de cada transecto o cuando otras personas están revisando la información. Las coordenadas también deben ser incluidas cuando están disponibles. Un ejemplo de cómo debe lucir una hoja de datos se muestra en la figura 8-2 con el número de peces por cada especie y su estructura de tallas correspondiente dentro del paréntesis.

Mientras que cada buzo registrará a las especies de acuerdo con su nombre (español, inglés o latín) o realizará un gráfico que le resulte familiar, esta información requiere ser convertida a un código de especies cuando los datos son ingresados a la base de datos. Una lista de los códigos utilizados está en la Base de Datos Submarina. Los códigos cortos (segunda columna) se componen de tres a cuatro letras (familia, género, especies y subespecies) y son bastante útiles para utilizar durante el buceo por el rápido ingreso a la base de datos. El formato básico para los códigos combina la primera letra de la familia, el género y la especie (ej. PSA = *Stegastes arcifrons* (Familia: Pomacentridae)). En algunos casos, algunos códigos pueden repetirse, por lo tanto, un cuarto carácter es añadido para formar un código único. Un ejemplo de esto sería LLA y LLAR, donde el primero es usado para *Lutjanus aratus* y el segundo para *Lutjanus argentiventris* (Familia: Lutjanidae).

El formulario de entrada de datos de peces en la base de datos tiene para escoger entre el nombre común, el código corto o el código de especies.

Figura 8-2: Ejemplo de una hoja de datos de campo para peces y vertebrados marinos. La hoja está dividida en 4 partes que representan cada lado (T1 agua abierta/T2 costa) en los dos transectos a 15 m y 6 m de profundidad.

Sitio:	GPS:	Hora:	Prof:	Visi:	Temp:	Corr:	Ole:			
Doradillo		12:15	6	10	26	L	L			
Zona:	Fecha:	Buzo:	Prof:	Visi:	Temp:	Corr:	Ole:			
Barc	12/04	Roby	15	12	26	L	L			
Especies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
PSA	4(10)	15(20)	15(3)	3(2)	1(1)		3(6)			1(5)
SL	1(2)	1(2)		2(1)			1(1)	5(20)	6(3)	3(4)
SLC	6(1)	4(1)	1(1)	1(1)	1(1)		2(1)	1(1)	1(1)	1(1)
SLH	4(4)	5(3)	2(5)	4(4)	5(5)	1(5)	2(3)			2(3)
SLK	1(5)	1(4)		1(5)			1(6)	1(5)		1(5)
PSV	2(1)	2(2)	1(1)	2(2)			2(2)	1(2)		1(3)
PSW	1(1)	1(2)		1(1)						1(1)
SLP	3(1)	2(1)	2(3)	2(2)	2(3)		1(1)	1(6)		2(1)
SLN	3(1)	2(1)	1(1)	3(1)			5(4)	1(2)		2(1)
SLV	1(4)	2(2)	2(2)	4(1)	2(4)	1(5)	2(2)	2(1)	3(3)	1(3)
SLD	5(1)	1(2)	6(5)	2(1)	1(4)	1(5)	3(5)	2(1)	2(5)	3(2)
Tronca	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)						
SLM	2(1)	1(1)	1(1)	1(1)	1(1)		3(2)			4(1)
SLP	3(1)	1(1)		2(1)			1(1)			2(1)
SLR	1(1)	1(1)		1(1)						
SLS	1(1)	1(1)		1(1)						
SLT	5(1)	1(1)	1(1)	2(1)	5(1)					
SLU	4(1)	2(1)		4(1)	1(1)	1(1)	6(1)	3(1)	2(1)	1(1)
SLV	1(1)	1(1)		1(1)						
SLW	1(1)			2(1)						
SLX	5(1)	4(1)		6(1)	3(1)		6(1)	2(1)		3(1)
SLY	2(1)	1(1)		1(1)			4(1)	1(1)		2(1)
SLZ	1(1)			1(1)						
SLA	3(1)			1(1)						
SLB	4(1)	1(1)		2(1)	1(1)		2(1)	2(1)		1(1)
SLC	2(1)	3(1)	2(1)	2(1)	1(1)		4(1)	5(1)		6(1)
SLD	1(1)									
MLE	1(1)									
SLF	1(1)			1(1)			2(1)			1(1)
SLG	1(1)									
SLH	1(1)									
SLI	5(1)			1(1)			2(1)	5(1)		6(1)
SLJ										
SLK										
SLL										
SLM										
SLN										
SLO										
SLP										
SLQ										
SLR										
SLS										
SLT										
SLU										
SLV										
SLW										
SLX										
SLY										
SLZ										
SLA										
SLB										
SLC										
SLD										
MLE										
SLF										
SLG										
SLH										
SLI										
SLJ										
SLK										
SLL										
SLM										
SLN										
SLO										
SLP										
SLQ										
SLR										
SLS										
SLT										
SLU										
SLV										
SLW										
SLX										
SLY										
SLZ										
SLA										
SLB										
SLC										
SLD										
MLE										
SLF										
SLG										
SLH										
SLI										
SLJ										
SLK										
SLL										
SLM										
SLN										
SLO										
SLP										
SLQ										
SLR										
SLS										
SLT										
SLU										
SLV										
SLW										
SLX										
SLY										
SLZ										
SLA										
SLB										
SLC										
SLD										
MLE										
SLF										
SLG										
SLH										
SLI										
SLJ										
SLK										
SLL										
SLM										
SLN										
SLO										
SLP										
SLQ										
SLR										
SLS										
SLT										
SLU										
SLV										
SLW										
SLX										
SLY										
SLZ										
SLA										
SLB										
SLC										
SLD										
MLE										
SLF										
SLG										
SLH										
SLI										
SLJ										
SLK										
SLL										
SLM										
SLN										
SLO										
SLP										
SLQ										
SLR										
SLS										
SLT										
SLU										
SLV										
SLW										
SLX										
SLY										
SLZ										
SLA										
SLB										
SLC										
SLD										
MLE										
SLF										
SLG										

Observaciones sobre especies de vertebrados costeros

Aunque siempre hubo observaciones registradas sobre la presencia de aves marinas, tortugas, iguanas marinas, lobos marinos, delfines y ballenas, solo desde el 2012 se agregaron estos grupos dentro las tareas del monitoreo de peces. Así como en el censo de peces, se estima la abundancia y la talla (largo del cuerpo incluyendo cabeza y cola). Se anota solo su presencia si fuesen observados fuera del transecto. Los datos se ingresan en el mismo formulario para peces y se tienen códigos correspondientes para cada una de las especies.

Otras consideraciones

Idealmente, tres personas deberían ser entrenadas en el conteo y estimación de tallas de peces. Normalmente, solo dos individuos coleccionarán esta información (uno por cada equipo); pero en caso de enfermedad o de no estar disponible, una tercera persona tendrá que reemplazarlo y, por lo tanto, es importante que esta persona conozca los métodos y que tenga experiencia con el manejo de datos.

Trabajar en la ecología de peces de Galápagos puede ser desalentador. No es una tarea fácil el aprender más de 200 especies, sus marcas características, sus numerosos nombres y códigos. Tampoco es fácil aprender a contar las densidades y a estimar los tamaños en el campo cuando existen miles de individuos en un área y en un momento determinados. Escuelas de gringos (*Paranthias colonus*) te pueden volver ciego.

Sin embargo, existen algunos trucos que pueden ayudar:

- A medida que se estima la abundancia relativa por especie, asegúrate de estimar aquellas especies poco comunes y conspicuas (Ej. *Dermatolepis dermatolepis*, *Caulolatilus princeps*, *Triaenodon obesus*) y aquellas especies de valor especial o comercial (ej., *Mycteroperca olfax*, *Sphyrna lewini*). Especies comunes y abundantes como *Prionurus laticlavius*, *Stegastes leucurus beebei* y *Ophioblennius steindachneri* son la siguiente prioridad porque forman una parte importante dentro de la comunidad. En algunos casos es difícil contar todos los individuos porque la especie es muy abundante (ej. *Apogon atradorsatus* o *Paranthias colonus*), por lo tanto, necesitarás estimar su abundancia lo mejor posible. Para especies pequeñas (ej., *Lepidonectes corallicola*, *Lythrypnus gilberti*, *Malacotenus tetranemus*) y sobre todo crípticas (ej., *Scorpaena plumieri mystes*, *Coryphopterus urosphilus*) es poco probable que puedas detectar todos y cada uno de los individuos presentes en el transecto, pero esto mejorará con la práctica y aun constituye un aporte cuantitativo válido de su papel relativo dentro de la comunidad. Finalmente, estima las tallas de todos los individuos registrados.
- Tomate unos minutos al inicio de cada transecto y mira a tu alrededor. Observa qué especies están presentes y anótalas en tu tabla de datos. Esto no solo servirá para registrar la riqueza de especies, sino que también será el inicio de la lista que usarás para registrar las densidades y los tamaños y te ayudará a ubicar ciertas especies en tu propia lista durante el buceo.
- Al final del transecto se debe tomar un minuto o dos para revisar la hoja de datos y llenar cualquier información faltante. Es recomendable realizar esto al final del buceo o inmediatamente después de salir a la superficie.
- Algunas personas prefieren registrar las cinco o diez especies más comunes (ej., *Prionurus laticlavius*, *Halichoeres dispilus*, *Paranthias colonus*, *Stegastes leucurus beebei*, *Holocanthus passer*) al inicio de su hoja de datos antes de ingresar al agua, siempre en el mismo orden. Esto también facilitará la ubicación de cada especie al momento de llenar la información, particularmente cuando tu lista se ha incrementado a treinta o más especies. Luego del buceo, asegúrate de tachar cualquiera de estas especies que no estuvieron presentes dentro de tu transecto para no incluirlas como presentes.



Carabalí, *Cirrhites rivulatus* (Imagen: R. Gallardo)



Cardumen de Cardenales, *Apogon atradorsatus* (Imagen: R. Gallardo)



Pez murcielago, *Ogcocephalus darwini* (Imagen: R. Gallardo)



Chopa rayado, *Kyphosus analogus* (Imagen: G. Edgar)



Pez chile lagarto, *Synodus lacertinus*
(Imagen: G. Edgar)



Cardumen de Ojon rayado, *Xenocys jessiae*
(Imagen: G. Edgar)



Trambollo triple aleta, *Lepidonectes corallicola*
(Imagen: G. Edgar)



Bacalao, *Mycteroperca olfax*
(Imagen: R. Gallardo)

- Recuerda que la experiencia te ayudará a mejorar tu habilidad para detectar especies. Aprende algo sobre su historia natural para predecir sus distribuciones. Algunas especies normalmente se registran como parejas de apareamiento (ej., *Zanclus cornutus* y los miembros de la familia *Chaetodontidae*); si ves alguna, realiza una búsqueda rápida de su pareja, ya que probablemente estará cerca. Especies de la familia *Scaridae*, y *Labridae* usualmente tienen varias morfologías o fases a lo largo de su historia de vida, aprende a identificar cada una de estas fases. Otras especies prefieren microhábitats como interfaces de arena (ej. *Serranus psittacinus*, *Coryphopterus urosphilus*), céspedes de algas (ej. *Stegastes leucurus beebei*, *Lythrypnus gilberti*), grietas entre las rocas (ej., *Apogon atradorsatus*, *Myripristis leiognathos*), bordes o salientes (ej. *Epinephelus panamensis*), corales negros (ej. *Cirrhichthys oxycephalus*, *Oxycirrhites typus*), o en la columna de agua (ej. *Mycteroperca olfax*, *Melichthys niger*, *Paranthias colonus*). Busca a las especies pelágicas (ej. *Sphyaena idiaestes*, *Seriola rivoliana*, *Decapterus sanctae-helenae*) que pasan frecuentemente a lo largo de los arrecifes rocosos o en la interface entre los fondos arenosos y los fondos duros. Algunos peces son asustadizos o tímidos (ej. *Oplegnathus insignis*, *Rypticus nigripinnis*), por lo tanto, necesitas aprender a estar alerta y tener un buen ojo para detectar estas especies. En algunas ocasiones, si esperas un momento, uno de estos individuos se acercará lentamente y será posible identificarlos.

- Para determinar la densidad, siempre que sea posible, cuenta y estima solo cuando sea necesario. Cuando estimes escuelas de peces, un buen método es poner tu mano frente a un grupo y contar cuántas veces el ancho de tu mano cubre a un grupo en particular. Posteriormente, cuenta el número de individuos que cubre una mano y multiplica este valor por la estimación final. Con especies pequeñas como el *Lythrypnus gilberti*, estima cuántos individuos hay por metro cuadrado. Posteriormente, estima el tamaño del área general que cubren y nuevamente multiplica estos dos valores entre sí.

- Al estimar las tallas, usa referencias. Ten a la mano referencias de distintos tamaños (ej., tu mano, tu tabla de datos, la longitud de tu brazo). Estos elementos son extremadamente útiles.

- Busca peces juveniles. Esto es importante para desarrollar un mejor entendimiento de los patrones estacionales y de las tendencias de reclutamiento de una población. Esto es fundamental cuando consideres que existen cuatro o cinco zonas biogeográficas en Galápagos y tales patrones son normalmente una función del ambiente físico (ej. temperatura). Reclutas de especies fácilmente identificables (usualmente 1-2 cm de largo) incluyen *Apogon atradorsatus*, *Stegastes arcifrons*, *Stegastes leucurus beebei*, *Halichoeres nicholsi* y *Bodianus diplotaenia*. También es importante registrar individuos más pequeños (+10 cm) de especies más grandes como *Epinephelus labriformis* y *Epinephelus panamensis*.

- Comunícate con tu equipo. Mientras los buzos están realizando conteos de sésiles y macroinvertebrados móviles, estarán fijándose en detalles entre las rocas. El buzo que está contando peces estará más consciente del entorno del transecto y sabrá del progreso de los demás. Anota arrecifes o formaciones distintivas que puedan ayudar con la navegación si regresas al sitio.

- Por último, ¡disfruta de la experiencia! Es un circo bajo el agua (sin el pez payaso, ya que no tenemos esa especie en la RMG) pero es un circo hermoso. Debes reconocer que toma tiempo aprender cómo identificar y medir cada especie. Probablemente tomará más tiempo aprender cómo manejar tu atención bajo el agua y calibrar tus observaciones. Tomate tu tiempo para estar en ese lugar y conocer su entorno. Es importante saber por qué estás trabajando para coleccionar toda esta información, por qué has escogido este trabajo. Recuerda que tú estás buceando en uno de los lugares más increíbles del mundo –una actividad y un lugar que la mayoría de personas solo pueden soñar–. Aprecia lo bella que puede ser la naturaleza y que tus esfuerzos ayudarán a conservarla.



Pastoreo por el erizo *Lytechinus semituberculatus* Punta Espinoza a 6 m, Fernandina. (Imagen: S.Banks)

MACROINVERTEBRADOS MÓVILES

9

Este grupo incluye animales visibles y normalmente móviles como pepinos, erizos, estrellas de mar, langostas, churos, quitones, abalones, pulpos, entre otros. Básicamente, si no está pegado al fondo, se mueve con sus propias patas, tentáculos o espinas y no es un pez, debe caer dentro este grupo de monitoreo.

Técnicamente, los macroinvertebrados incluyen a los animales más grande de 1 mm. Aquí, por razones de evaluación, comparación y tiempo limitante de buceo, restringimos a las especies más grandes de 2 cm a plena vista (no completamente enterrados o escondidos bajo las rocas). Los demás organismos más pequeños requieren otro tipo de monitoreo más dirigido y especialista (ej. mesogastrópodos). El monitoreo de invertebrados móviles se centra en la medición simultánea de la densidad y abundancia de varias especies a la vez, incluyendo especies comerciales y no comerciales. Para ello se evalúa principalmente la densidad en cada uno de los 20 cuadrantes de 1 m por 5 m ubicados a lo largo de una cinta de 50 m de longitud sobre el substrato, todo a una misma profundidad (figura 9-1).

El buzo que cuenta macroinvertebrados móviles, normalmente es el encargado de colocar y retirar el transecto. En caso de que esté haciendo sus primeras prácticas en los sitios, el buzo de censo de peces puede colocar el transecto para que este lo retire después. Normalmente, el líder del grupo indica dónde empezar el transecto y la dirección general para colocarlo (ver sección 8).

Hay varias razones para que el buzo de macroinvertebrados coloque el transecto. Con la notable excepción de sitios dominados por erizos de mar, el monitoreo normalmente no es tan exigente comparado con el de peces o sésiles, lo cual resulta en un mejor aprovechamiento del tiempo a cada profundidad por cada grupo de monitoreo. También representa una buena oportunidad para que nuevos integrantes ganen confianza en las actividades de monitoreo bajo el agua y para conocer el perfil de los sitios. En todo caso, un nuevo integrante debe ser siempre asistido y guiado por el líder del grupo e incluso puede compartir su censo entre dos buzos sin afectar la calidad en la toma de datos.

"Nunca he sido herido por una criatura del mar, a excepción de las medusas y erizos de mar".

- Peter Benchley,
Autor de "Jaws"

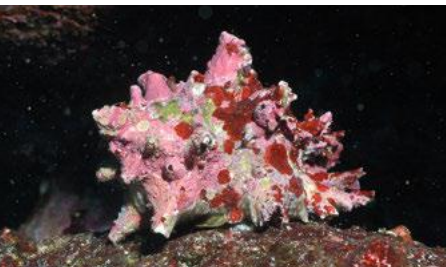
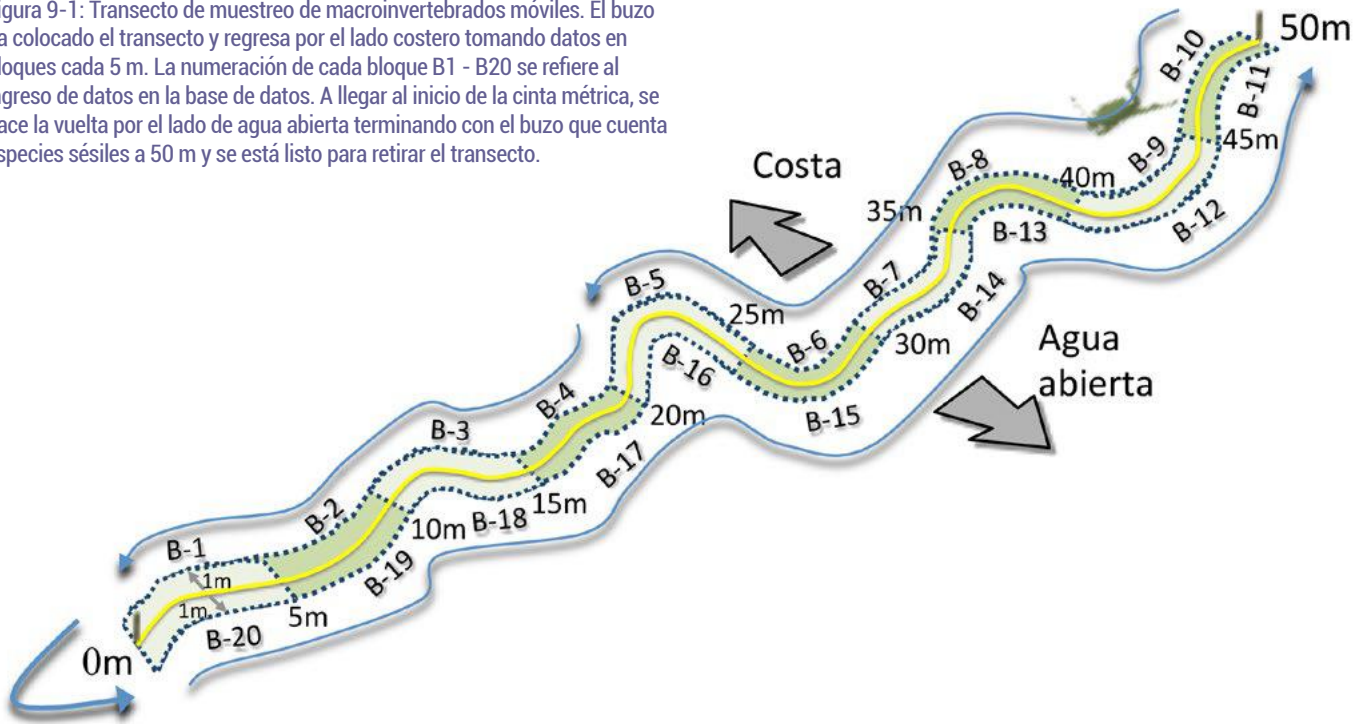


Estrella de mar, *Astropecten armatus*.
(Imagen: CC FCD)



Estrella de mar, *Nidorellia armata*
(Imagen: M. Parra)

Figura 9-1: Transecto de muestreo de macroinvertebrados móviles. El buzo ha colocado el transecto y regresa por el lado costero tomando datos en bloques cada 5 m. La numeración de cada bloque B1 - B20 se refiere al ingreso de datos en la base de datos. A llegar al inicio de la cinta métrica, se hace la vuelta por el lado de agua abierta terminando con el buzo que cuenta especies sésiles a 50 m y se está listo para retirar el transecto.



Churo Blanco, *Hexaplex princeps*
(Imagen: G. Edgar)

El buzo siempre empezará el conteo de las especies del lado de la cinta expuesta a la costa, independientemente del extremo en el que se encuentre. A lo largo de la cinta de 50 m se formarán segmentos más pequeños de 5 m², estos segmentos podrán ser calculados al extender el brazo o una barra de hierro 1 m en dirección perpendicular a la cinta. En todos los casos, siempre se estimará un metro hacia cada lado del transecto, independientemente del grado de inclinación del substrato (así se medirá el área superficial grosso modo). Por ejemplo, en una pared vertical, el ancho de banda se establecerá de forma vertical en vez de hacerlo en forma horizontal, como ocurre en las superficies planas. También es útil marcar con pintura y/o colores las divisiones cada 5 m en la cinta métrica.

A lo largo de la cinta de 50 m se formarán segmentos más pequeños de 5 m², estos segmentos podrán ser calculados al extender el brazo o una barra de hierro 1 m en dirección perpendicular a la cinta.



Estrella de mar, *Phataria unifascialis*
(Imagen: R. Gallardo)

En cada segmento de 5 m² se realizará un conteo independiente de cada una de las especies de macroinvertebrados móviles observadas. Aquellos individuos que no son visibles por estar debajo de las rocas o enterrados en la arena no serán tomados en cuenta en este procedimiento de monitoreo. Los intervalos de medición se registran como se indica en la figura 9-1, del B1 al B10 en la parte izquierda del transecto, y del B11 al B20, en la parte derecha del mismo, de manera que correspondan a los segmentos de medición registrados en la Base de Datos de Monitoreo Ecológico.

Una vez terminado el lado izquierdo de la cinta, el buzo regresará del lado opuesto realizando el mismo conteo. Sin embargo, en sitios de baja biodiversidad o abundancia, alta corriente u oleaje, podría ser más práctico registrar de manera consecutiva los segmentos de 5 m² a ambos lados del transecto. Bajo estas circunstancias, los datos se registran en B1/20, B2 /19, B3/18, según su progreso a lo largo de la cinta. Si uno de los macroinvertebrados es muy abundante, se estima la abundancia de este organismo en tres cuadrantes a lo largo del transecto (al principio, en el medio y al final de la cinta) y luego se extrapola la abundancia para el resto del segmento monitoreado.

La forma en cómo se toman las tallas dependerá del tipo de organismo a ser medido. Cada buzo debe tener un trozo corto (~30 cm) de cinta métrica o un calibrador colocado en su tabla de datos. En el transcurso del censo visual es mejor tomar las medidas de los individuos de especies menos abundantes o poco comunes (como estrellas del mar, pepinos, o churo blanco *Hexaplex princeps*). En el caso de tener cientos de erizos en el transecto es mejor medir una selección al azar de por lo menos 20 individuos. A excepción de los pepinos del mar, las medidas deben ser rectas (figura 9-2). Se mide el largo de la concha para los gasterópodos, el diámetro para los erizos, el radio desde la boca hasta el brazo más largo de las estrellas de mar y el largo dorsal del pepino desde la boca hasta el ano. En el ejemplo de las estrellas de mar, se las debe levantar para tomar medidas desde la superficie ventral. En el caso de los pepinos de mar, no se debe los manipular demasiado para evitar que se estresen y cambien su longitud. Algunas especies no se prestan para tomar medidas exactas en el campo por estar dentro de agujeros, ser tóxicos o difíciles de manipular. Entre ellos, no tomamos tallas para los erizos de espina larga *Centrostephanus coronatus* y *Diadema mexicanum*. Los datos de tallas pueden ser colocados junto con los de abundancia de cada especie en la hoja de datos (figura 9-3).



Langosta espinosa roja, *Panulirus penicillatus*
(Imagen: R. Gallardo)

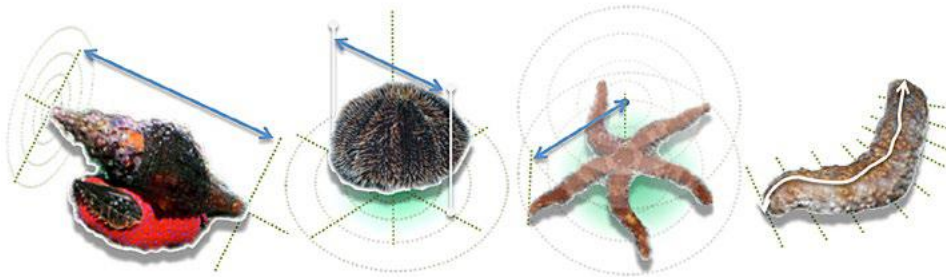


Figura 9-2: Medidas de los macroinvertebrados móviles para los grupos principales (gasterópodos, erizos, estrellas del mar y holoturoidea).

Sitio: 2.4		Coord: 02-04-06		Hora: 6 H 30		Corr: Medio		Visi: 10 m		Ole: Medio							
Zona: 2.4		Fecha: 02-04-06		Buzo: MTP		Temp: 68 °F		Ole: Medio		Especies							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
15 m	EUCYTHO	4	3	5	3	3	3	4	7	3	8	TALLAS 5-6-3-5-4-5					
	HEXPREI		1			2					1	12	13	12	14		
6 m	EUCYTHO	5	3	5	4	4	2		2	1	2	5	5	5	3	4	
	HOLKEF		3	3	5	3	7	3	1	4	3	5	4	4	5	3	
	HEXPREI			1		2	2	3	2			13	10	11	9	13	12
	DIAMEX	2		2		2	3				1	13	12	14	13	12	12
			2	3	4	3											

Figura 9-3: Ejemplo de hoja de datos para macroinvertebrados móviles tomados en el campo para las dos profundidades (15 m y 6 m).



Langostino de Galápagos, *Scyllarides astori*
(Imagen: J. C. Moncayo)



Pepino de mar, *Isostichopus fuscus*
(Imagen: M. Vera)

Al final del muestreo, cuando el buzo ha terminado de tomar tallas, deberá explorar las áreas contiguas al transecto para anotar cualquier observación nueva sobre otras especies de macroinvertebrados que no han sido previamente registradas dentro del transecto. Para esto se ha desarrollado una sección dentro de la Base de Datos de Monitoreo Ecológico que registra la presencia de dichas especies, asignándoles un valor de uno para indicar su presencia.



Erizo de mar, *Diadema mexicanum*
(Imagen: G. Edgar)



Pepino de mar, *Holothuria fuscocinerea*
(Imagen: G. Edgar)

Otras consideraciones

- Deben tener cuidado de no acercarse demasiado a las agrupaciones de *Diadema mexicanum* para evitar lastimarse, particularmente en condiciones de oleaje en aguas someras.
- Utilicen guantes para evitar cualquier lesión o irritación, particularmente cuando se manipula la cinta del transecto por las rocas con balanos e hidroides.
- Al momento del muestreo se pueden coleccionar algunos especímenes para identificar y determinar la estructura de tallas, la relación talla-peso, el sexo y cualquier otro dato biológico de interés según los proyectos de investigación en marcha.
- Cuando colocan el transecto, es posible que se vean especies de peces pelágicos o transeúntes y/u otras especies de interés (pingüinos, cormoranes, iguanas, delfines, etc.) que huyan rápidamente de los buzos. Asegúrate de mencionar estos detalles al buzo que está realizando el conteo de peces.
- Si terminas tu transecto con tiempo y las condiciones son desafiantes, puedes ayudar al buzo que realiza el conteo de sésiles a sostener bien su cuadrante. Una mano extra en una pared vertical puede ser muy útil.
- Debes anotar la presencia de cangrejos ermitaños pero no la abundancia por la dificultad de averiguar cuáles conchas que están ocupadas.
- Respeta los animales si tomas medidas u otros datos y, en la medida de lo posible, devuelve a los individuos al lugar en donde los encuentres.
- En el caso de realizar medidas de peso en el barco, no transportes individuos vivos entre sitios y devuélvelos al agua en la medida de lo posible. Por esta razón es importante la organización y asistencia inmediatamente después de las inmersiones entre los participantes del crucero.

Pulpo, *Octopus oculifer* (Imagen: R. Gallardo)





Thais planospira 'Ojo de Judas', Wolf. (Imagen: G.Edgar)

MESOGASTRÓPODOS

10

Muchos de los impactos en el ambiente marino por grupos taxonómicos son indirectos, y lo que observamos a veces es el resultado de una cadena de influencias que se ha propagado luego de una perturbación puntual o crónica. Tales perturbaciones, como la pesca intensiva o una enfermedad, normalmente son más visibles cuando nos afectan directamente. Sin embargo, dadas las interconexiones y dependencias dentro de un ecosistema, es muy probable que otras especies resulten afectadas. Pueden cambiar comportamientos, niveles de depredación, reproducción o pastoreo. Tal vez hubo desplazamientos de especies debido a la competencia entre un grupo de especies o, tal vez, por un suceso que ha generado cambios estructurales en el espacio físico del ambiente abiótico.

Ciertas especies o grupos de especies son candidatos para ayudarnos a averiguar posibles impactos porque su abundancia o presencia es un indicador sensible e indirecto de un cambio en otra parte del ecosistema. Sin ser parte de la causa de la perturbación, son útiles para seguir en el tiempo.

Por tal razón incluimos un monitoreo de mesogastrópodos, que representa un grupo bastante diverso con más de 90 especies registradas típicamente durante los monitoreos submareales.

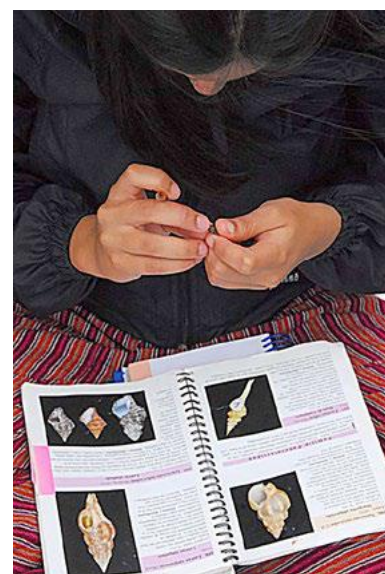
El monitoreo de mesogastrópodos aprovecha que el buzo que trabaja con organismos sésiles ya tiene su cuadrante colocado en el fondo marino. Cuando termina el conteo de sésiles, busca todas las conchas pequeñas vivas con tamaños de hasta 2 cm, dentro del espacio de 0.25 m² del cuadrante. Es decir, que por cada transecto de 50 m, se tomarán 10 muestras de mesogastrópodos (ver sección 7).

En caso de que no se conozcan las especies o si el tiempo es limitante, se coloca cada colección por cuadrante en una funda ziplock marcada para llevar a la superficie. Con el apoyo de alguien en el barco, inmediatamente después del buceo se trabaja en la identificación para devolverlos al agua antes de salir del sitio (figura 10-1). Los datos de mesogastrópodos están ingresados en la base de datos submarina en su propio formulario.

"It has long been an axiom of mine that the little things are infinitely the most important".

Sir Arthur Conan Doyle

Figura 10-1: Identificación y conteo de mesogastrópodos en el barco después del buceo para devolverlos al agua de inmediato.



(Imagen: G.Feldman)



Tiburón ballena, *Rhycodon typus* (Imagen: J. Green)

11

CENSO DE PECES PELÁGICOS



Pez sol oceánico, *Mola ramsayi*
(Imagen: A. Hearn)

Las especies de peces pelágicos que pasan la mayor parte de su vida en aguas abiertas fuera de la costa son de suma importancia para la economía de las islas. De hecho, es probable que el nivel de protección que brinda la reserva, por su ubicación en el Pacífico Este Tropical, también juegue un papel importante a la hora de respaldar los stocks de muchas especies pelágicas pescadas por la flota industrial en la región por fuera de los límites de la Reserva.

Entre aquellas especies que se encuentran dentro del límite de 40 m, hay algunos depredadores topes oceánicos como los atunes, los picudos y los jureles oceánicos, los cuales también son un objetivo de la pesca artesanal permitida y regulada por las autoridades en las islas. También hay especies protegidas como los tiburones, las rayas, e incluso especies grandes y curiosas como el pez sol del océano sureño *Mola ramsayi*. A pesar de la amplia gama de especies marinas icónicas que maravillan a los visitantes de la RMG, los tiburones constituyen uno de los principales atractivos de la oferta de turismo de buceo en las islas. Hoy en día, algunos sitios como Wolf y Darwin disfrutan de fama a escala mundial debido a los avistamientos de tiburones ballena y a las numerosas escuelas de tiburones martillo.

Desde 1999, la zonificación de la RMG cuenta con la Zona 1, definida como las aguas abiertas situadas fuera la zona costera de las islas. También se incluyen los bajos y montes submarinos, que son sitios de alto valor para la conservación de especies debido a su alta productividad; los ensamblajes de especies que sostiene y su potencial como sitios de alto rendimiento para la pesca blanca.

Para mejorar nuestro entendimiento sobre este componente de la reserva se decidió iniciar censos visuales de especies pelágicas. De esta manera, se complementan las investigaciones de marcaje orientadas a determinar patrones de movimientos y fidelidad de sitio para los tiburones entre la DPNG y la FCD, aumentando así la información proporcionada por el monitoreo costero en sitios expuestos a alta mar.

El monitoreo de peces por censo visual, tal como está descrito en la sección 12, fue diseñado originalmente para peces demersales dentro de un área de 5 x 5 m del arrecife. Los peces pelágicos que pasan cerca de la costa están representados, pero pelágicos grandes como tiburones, que suelen moverse entre profundidades

según la dinámica de la termoclina, a veces quedan fuera del área frecuentada por los buzos, lo que conlleva a que puedan ser subestimados en el monitoreo.

En cambio, un monitoreo dedicado a peces pelágicos por buzos a media agua, puede favorecerse a un área más extensa, limitada solo por la visibilidad en el sitio; aunque tiene la desventaja de trabajar con áreas de monitoreo imprecisas. Se utilizan dos técnicas para los censos visuales de especies pelágicas.

Transectos lineales

El censo lo realiza una pareja de buzos. Uno anota los datos, toma la hora inicial y final del censo y controla su duración, mientras que el segundo buzo arrastra una boya con un GPS atado a la misma. Se realizan censos de 2 minutos de duración nadando a una velocidad y a una profundidad constante a lo largo del arrecife, a 1 - 1.5 m sobre el fondo, registrando todos los individuos de las especies objetivo del monitoreo encontradas a lo largo del transecto y en un área de 5 m de alto y 5 m de ancho a través de este. Una vez finalizado un censo se continúa nadando en la misma dirección y profundidad por 15 segundos y se inicia el segundo. El GPS ha de estar sincronizado con el reloj de los buzos, por lo que una vez fuera del agua se pueda determinar la longitud de cada transecto realizado (añadiendo 5 m que corresponden al final del transecto), obteniendo así el área de muestreo y su geolocalización. Se registran datos de presencia/ausencia, número, talla (longitud máxima estimada) y sexo (cuando es posible determinarlo). En cada buceo se realiza un mínimo de 8 - 10 transectos en cada sitio de estudio. Se llevan a cabo en dos profundidades: 15 m y 30 m.

Conteos estacionarios

Una pareja de buzos se sitúa en un punto de forma estacionaria, separados por 20 m y manteniendo el contacto visual entre ellos. Cada buzo registra todos los individuos de las especies objetivo del monitoreo dentro de un círculo estimado de 10 m de radio hasta la superficie, indicando su presencia/ausencia, número, talla (longitud máxima estimada) y sexo (cuando es posible determinarlo), durante una sola vuelta en su posición. Una vez finalizada esta vuelta, se continúa el censo hasta completar dos minutos. Al finalizar los dos minutos, ambos buzos se mueven de forma coordinada hacia otros dos nuevos sitios de monitoreo. De esta manera se obtienen datos de censos instantáneos de dos minutos de duración. La reducción en el tiempo de los censos respecto a censos estacionarios realizados anteriormente (de 20 y 30 minutos de duración) se debe a que se busca evitar la sobreestimación, ya que se reduce al mínimo la probabilidad de contar más de una vez a un mismo individuo que entre y salga del área de monitoreo de forma repetida.

Censos con videocámaras

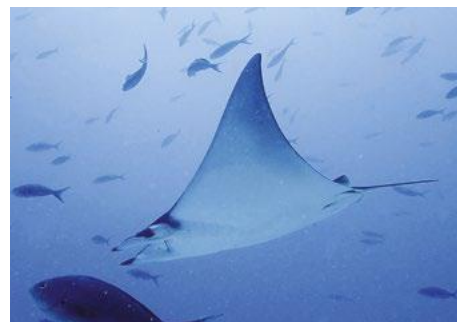
El estereovideo está formado por dos cámaras de video que graban en paralelo y con una orientación determinada, de tal manera que a través de un *software* específico es posible analizar las imágenes y obtener datos de presencia/ausencia, abundancia, talla (con una precisión de 1 cm) y sexo de las especies objetivo registradas. El sistema ha de calibrarse previamente a través del *software* CAL (*SeaGIS Ltd.*). La ventaja de este sistema es que permite recorrer largas distancias muestreando sin que el buzo se detenga a apuntar los registros (DOVS: *diver operated video system*). También permite dejar el sistema de forma remota con una carnada durante un tiempo determinado (BRUVS: *baited remote video system*), evitando así el efecto de la presencia de buceadores, lo cual es muy útil para especies de alta movilidad y asustadizas como los tiburones. Otra ventaja notable es que permite hacer un censo de forma independiente del observador, ya que los datos se toman en el análisis posterior del metraje, evitando el importante sesgo que se produce entre muestreadores y aportando un mayor rigor y fiabilidad a los datos obtenidos (Harvey & Shortis, 1996; Watson et al., 2005).



Jurel negro, *Caranx caballus*
(Imagen: G. Edgar)



Barracuda pelicanos, *Sphyraena idiaestes*
(Imagen: M. Vera)



Manta, *Mobula* sp.
(Imagen: R. Gallardo)



Tiburón Galápagos, *Carcharhinus galapagensis*
(Imagen: R. Gallardo)



Jurel ojón, *Caranx sexfasciatus*
(Imagen: A. Chiriboga)



Jurel de aleta azul, *Caranx melampygus*
(Imagen: G. Edgar)

- DOVS. El censo lo realiza una pareja de buzos. Uno lleva el sistema de estereovideo (figura 11-1), toma la hora inicial y final del censo y controla su duración, mientras que el segundo buzo arrastra una boya con un GPS atado a la misma. Se realizan censos de 2 minutos de duración nadando a una velocidad y a una profundidad constante a lo largo del arrecife, a 1-1.5 m sobre el fondo, manteniendo las cámaras filmando hacia delante. El área de muestreo, la identificación de especies, su abundancia, su talla (longitud furcal) y su sexo se determinan en el procesado del metraje a través del *software EventMeasure* (SeaGIS Ltd.). Una vez finalizado un censo, se continúa nadando en la misma dirección y profundidad por 15 segundos y se inicia otro censo. El GPS ha de estar sincronizado con el reloj de los buzos, por lo que una vez fuera del agua se puede determinar la longitud de cada transecto realizado (añadiendo 5 m que corresponden al final del transecto), obteniendo el área de muestreo y su geolocalización. En cada buceo se realizan un mínimo de 8 - 10 transectos en cada sitio de estudio. Se llevan a cabo en dos profundidades: 15 m y 30 m.
- BRUVS. El sistema de estereovideo se coloca sobre un marco lastrado y estable atado a un cabo y a una serie de boyas que marcarán su posición. Se puede colocar sobre el fondo (BRUVS de fondo) y dejar a media agua a la deriva (BRUVS pelágico). Se coloca frente a las cámaras una bolsa de malla metálica con un 1 kg de carnada (siempre de la misma especie) y se lanza sobre el sitio elegido, registrando su localización y profundidad. Se deja por un lapso de 1 a 2 horas con las cámaras grabando y se recoge. El área de muestreo, la identificación de especies, su abundancia, su talla (longitud furcal) y su sexo se determinan en el procesado del metraje a través del *software EventMeasure* (SeaGIS Ltd.).

Figura 11-1: Sistema de estereovideo (DOVS) llevado para censos de peces pelágicos.



Sistema de DOVS (Imagen: P. Salinas)



Tortuga *Chelonia mydas* y coral negro *Anthipates galapagensis* (Imagen: R. Gallardo)

CARACTERIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LOS HÁBITATS DE LA RMG

12

La Reserva Marina incluye dentro de sus límites casi cada tipo de hábitat costero-marino conocido, desde barrancos costeros expuestos bajo el sol ecuatorial hasta las oscuras y misteriosas profundidades del plano abisal. Cuenta con camas de macroalgas densas, arrecifes coralinos sobre de una base de basalto y hábitats poco comunes como chimeneas hidrotermales en la zona entre placas tectónicas. Los hábitats marinos no representados son los de césped marino (*sea grass*) y bosques de algas laminares grandes, aunque sí existen extensiones de kelp en el oeste de las islas.

Uno de los retos para la conservación de la RMG es, dentro de sus límites, reconocer y definir bien las distintas variedades de hábitats para asegurar que una proporción representativa de cada uno cuente con medidas adecuadas de protección (Banks 2007). Estas medidas apuntan a un futuro saludable que asegura la longevidad de los servicios que la misma Reserva brindará a la comunidad local (ej. el patrimonio natural, la seguridad alimenticia por la pesca local, los ingresos por turismo de naturaleza, etc.). El nivel de conocimiento sobre cada hábitat varía bastante por cuestiones de prioridad en investigaciones previas y dificultad de acceso (figura 12-1).

Hábitats y su resiliencia

Las comunidades marino-costeras que se asocian a una localización en concreto están adaptadas para sobrevivir bajo un cierto rango de condiciones abióticas, los cuales están principalmente influenciados por el régimen oceanográfico. Esto influye en la penetración de luz que cambia con la profundidad, la disponibilidad de nutrientes y define su ambiente productivo. La geomorfía, complejidad estructural, tipo y heterogeneidad del sustrato; tiene mucho que ver con la formación del hábitat bentónico, así como con la pendiente y el nivel de exposición del sitio al oleaje y a las corrientes.

Hábitats diversos y conectados en la RMG albergan configuraciones distintas de especies.



Tiburón martillo, *Sphyrna lewini* (Imagen: R. Gallardo)

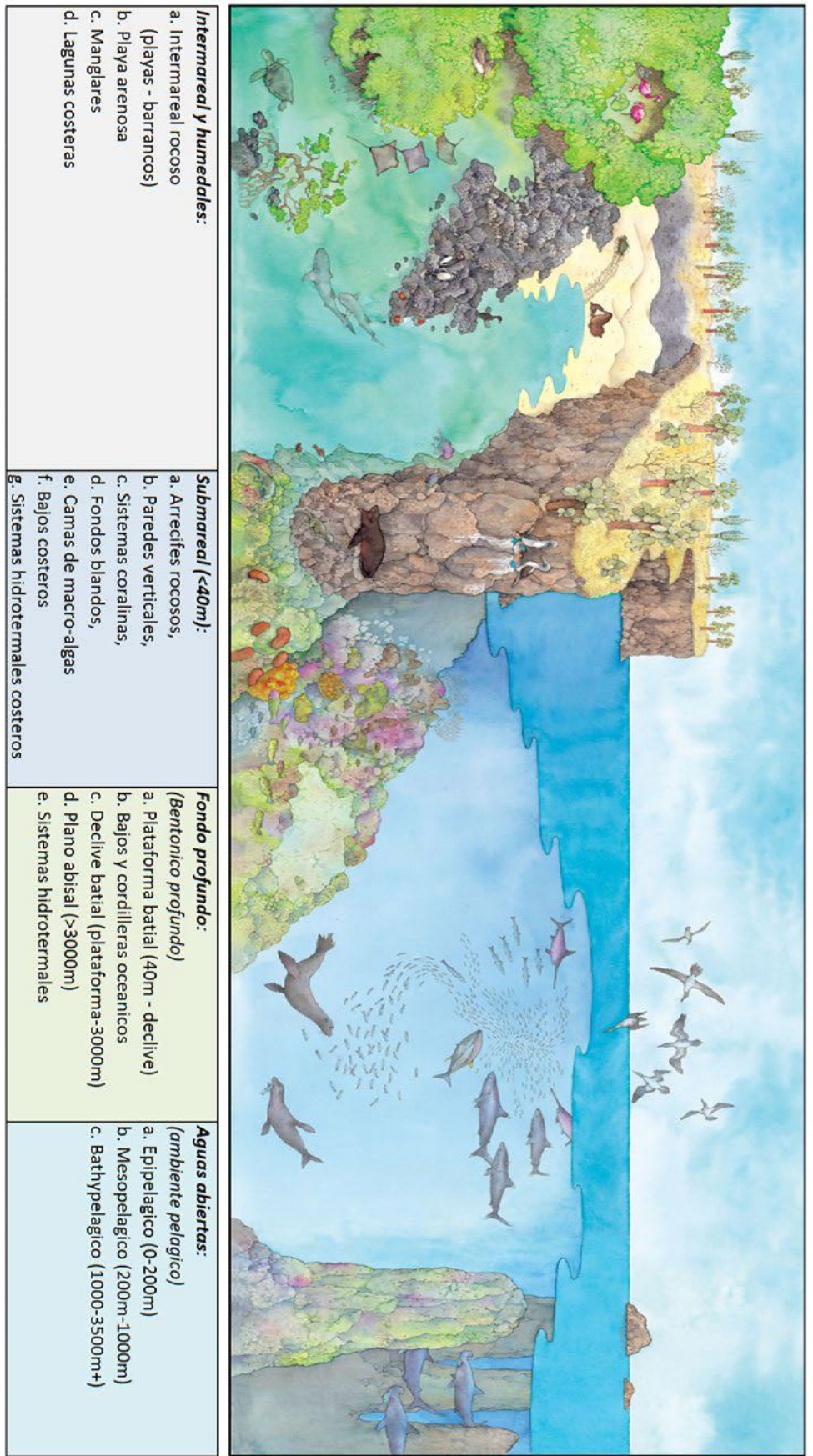


(Imagen: S. Banks)



Camas de Sargasos, *Sargassum sp.* (Imagen: R. Gallardo)

Figura 12-1: Hábitats principales de la Reserva Marina de Galápagos y sus extensiones estimadas (imagen - FCD/DPNG 2006).



En muchos casos, los hábitats de mayor interés para la conservación suelen estar caracterizados por las especies claves que colonizan el sustrato (como los arrecifes coralinos) y priorizados por su endemismo, sensibilidad y valor percibido por el ser humano. Dichas comunidades normalmente crecen dentro de un rango de condiciones físicas más reducidas que restringen sus distribuciones, lo cual facilita su identificación y seguimiento.

Sin embargo es evidente que una sola categoría, como el arrecife rocoso que tiene una amplia distribución (>80% de la zona costera), cuenta con mucha variabilidad en sus ensamblajes de especies, siendo definidos por múltiples configuraciones de su entorno oceanográfico, la geomorfía del lugar, interfaces entre ellos (ej. roca y arena) y la biota asociada. Por tal razón, existe mucha heterogeneidad en el hábitat rocoso submareal, entre las diferentes bio-regiones que se extienden entre islas o incluso sobre escalas más finas de pocos kilómetros.

También reconocemos cambios en el estado de comunidades y sus hábitats causados por eventos naturales y antropogénicos. Son sistemas dinámicos sujetos a perturbaciones. Tales perturbaciones, ya sea El Niño, un invasión de cangrejos nadadores, un derrame de petróleo o la sobrepesca, pueden redefinir sus estructuras internas y sus extensiones en el espacio. Si estos eventos superan la resistencia natural (alterando o eliminando los controles biológicos o físicos que normalmente regulan una comunidad) esto puede desembocar en una cadena de sucesos que cambien su configuración. Los niveles de diversidad y poblaciones quedan alterados hasta que se llegue a un nuevo estado dinámico de equilibrio; normalmente menos diverso.

Está demostrado que algunos hábitats con comunidades más desarrolladas y diversas, con el tiempo son más resistentes o tienen una mayor resiliencia. Otras configuraciones como los 'barrios de erizos' (*urchin barrens*) reflejan sistemas degradados por perturbaciones crónicas y dominados por ciertas especies. Algunos 'ingenieros de hábitat', sean peces o erizos, cambian el nicho ecológico, lo cual puede estorbar en los procesos de sucesión biológica necesarios para una recuperación del hábitat a algo más diverso, o con un mayor valor en términos de los servicios que puede brindar.

Algunos 'ingenieros de hábitat', sean peces o erizos, cambian el nicho ecológico, lo cual puede estorbar en los procesos de sucesión biológica necesarios para una recuperación del hábitat.

Para caracterizar las extensiones de los hábitats costeros, a grandes rasgos se han hecho transectos por la costa de todas las islas, lo cual, en años sucesivos, se ha complementado con datos obtenidos de imágenes satelitales costeras de mayor resolución. Para las aguas abiertas, ha sido posible empezar a modelar los diferentes ambientes con base en la batimetría, las propiedades del agua, las comunidades de plancton por su productividad, y datos satelitales y de los cruceros oceanográficos. Las aguas abiertas todavía requieren una buena línea base biológica y con mayor número de datos de tendencias de extracción de pesca de altura. Para sistemas bentónicos de profundidad mayor a 40 m, existe una información muy limitada, recopilada de oportunidad en contados cruceros, en los que se han aprovechado tecnologías sumergibles y de filmación.

Para poder caracterizar mejor los hábitats de la zona costera –zona de la reserva que representa el mayor grado de interacción con el ser humano– hay varias técnicas de caracterización. Aquí describimos la metodología de mapeo de hábitat aplicada para una línea base del arrecife rocoso por toda la RMG, la cual se combina con la búsqueda de especies poco comunes y/o amenazadas. La misma metodología ha sido adaptada y aplicada a comunidades coralinas de la RMG, descrita en la sección 14.



Una alta proporción de cobertura de tunicados en algunos sitios de la RMG (6 - 15 m de profundidad) estructura el hábitat bentónico. (Imagen: D Ruiz)



El erizo blanco *Tripneustes depressus* es conocido como el ingeniero de hábitats por su influencia en la bioerosión y pastoreo de la superficie del arrecife. (Imagen: A. Chiriboga)



La zona del oeste de Galápagos y zonas de afloramiento se caracterizan por aguas altamente productivas con fitoplancton y turbias con sucesiones de zooplancton. (Imagen: S. Banks)



***Megabalanus sp.* representa un hábitat altamente productivo y dinámico que sostiene a muchas especies en sitios someros expuestos a corrientes fuertes y oleaje.** (Imagen: M. Vera)

Tabla 12-1: Escala semicuantitativa de cobertura aplicada en el mapeo.

Escala	% Cobertura Rango			Descripción
0	0			Ausente
1	Individuo			Un individuo solitario
2	0	-	2	Ocasional
3	2	-	25	Común
4	25	-	75	Abundante
5	75	-	100	Completo

El mapeo de hábitat en la zona submareal (2 m - 40 m de profundidad)

Se enfoca principalmente en el registro visual de información para la caracterización del fondo marino durante inmersiones con buceo *Scuba*, considerando la complejidad del sustrato, la batimetría, temperatura, composición de las comunidades y la abundancia de organismos asociados como variables que determinan las características de un hábitat. La información se registra combinando varios métodos estandarizados para el monitoreo submareal de la RMG.

La unidad de muestreo principal es una banda de 2 m de ancho sobre la cual un buzo avanza nadando lentamente estimando por intervalos de distancia lateral (por isobata) o profundidad (vertical) las proporciones relativas de cobertura por cada una de las categorías de sustrato y epibiota (tabla 12-1), aplicando una escala sencilla y semicuantitativa (tabla 12-2).

Transectos paralelos a la línea de costa

Este método se utiliza para cuantificar la variabilidad del hábitat a una profundidad constante. Para ello se colocan transectos referenciales, paralelos a la línea de la costa que puedan cubrir longitudes de 100, 200 y 400 metros. Estos transectos están colocados en profundidades estandarizadas (típicamente 15 m (45 pies) y 6 m (18 pies)) para mantener una correlación directa con la información recopilada anteriormente durante los monitoreos de comunidades marinas en la RMG. El inicio y final de los transectos debe ser marcado con GPS y se ayuda con la colocación de una boya o señal visual en la superficie. También es posible que el buzo remolque una boya superficial con un GPS en el interior (bien sellado), y así evite la necesidad de colocar transectos.

En sitios de batimetría más somera, en los cuales no se encuentre o no sea posible colocar el transecto a las profundidades estándar, se coloca a la profundidad disponible y se registra la nueva profundidad del transecto.

Tabla 12-2: Las categorías aplicadas en el mapeo de hábitat submareal (ejemplo de un perfil vertical).

Profundidad (pies)	Sustratos expuestos		Corales				Alga foliosa			Encrustante				Significativo / meta			
	Roca	Arena	Hermatípico	Gorgonia	Negro	Solitario	Roja	Parda	Verde	Alga coralina	Tunicados	Balano	Espojia	Sargassum	Hidroide	Aspergopsis	Caulerpa
120 - 110	2	4	0	2	0	0	3	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0
110 - 100	2	3	0	2	0	0	3	0	0	4	2	0	1	0	0	0	0
intervalos																	
30 - 20	2	0	0	2	0	0	2	3	2	4	4	0	3	3	0	3	0
20 - 10	2	0	0	2	0	0	2	4	3	4	3	0	2	4	0	3	0

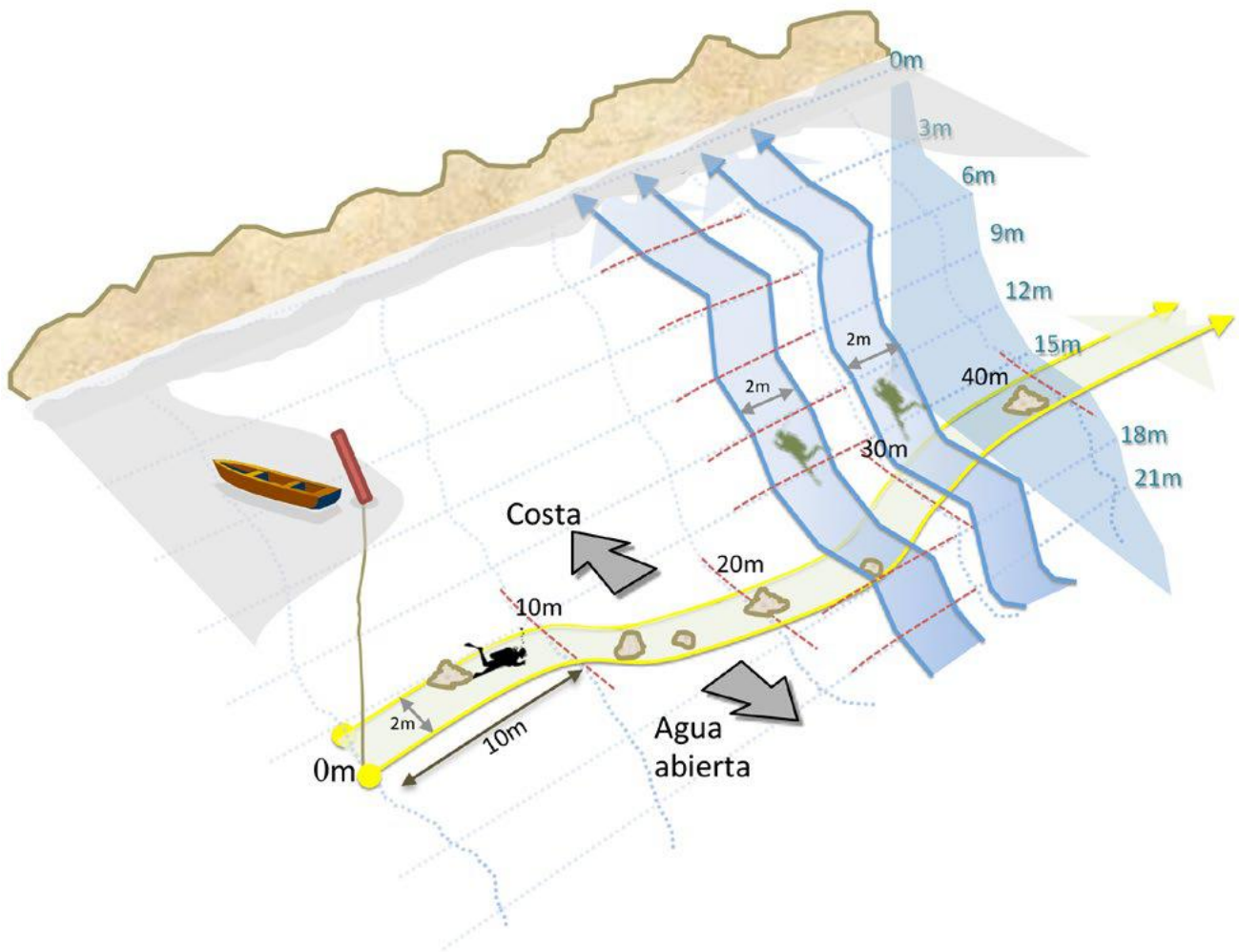


Figura 12-2: Indicaciones para el mapeo de hábitat en una profundidad fija (aquí a 15 m) con intervalos de 10 m y por perfiles verticales con intervalos de profundidad de 3 m.

Cada transecto se divide en secciones de 10 m. En cada sección se registran los tipos de sustrato y los organismos sésiles bentónicos que coinciden con la línea del transecto según las categorías y escala semicuantitativa (figura 12-2 y tabla 12-1).

Debido a que el área recorrida es más extensa, otro buzo acompañante puede aprovechar la oportunidad para caracterizar los organismos marinos por grupos de interés, por ejemplo especies de interés comercial, especies indicadoras de salud del arrecife como *Dermotalepsis* o *Arothon Sp.*, o invasoras. También es útil realizar un inventario acumulativo más extenso por cada grupo de especies (presencia) a lo largo del transecto. Dentro de las categorías existe una columna para especies de interés particular según los proyectos en marcha.

Transectos perpendiculares a la línea de costa

Los transectos perpendiculares o verticales se utilizan para cuantificar los cambios de hábitats en relación a la profundidad con observaciones y estimaciones visuales a lo largo del transecto de referencia, que va desde una profundidad no mayor de 40 m hasta una profundidad más somera de 2 a 4 m. La profundidad para iniciar la subida dependerá de las condiciones, la distancia a nadar entre las profundidades y el nivel de experiencia de los integrantes del grupo.

Recuerde que los transectos deben terminar lo más cerca posible a la línea de la costa, pero también es importante considerar algunas limitaciones que pueden ser provocadas por la fuerza del oleaje y/o la complejidad del terreno.

Normalmente dos personas realizan réplicas de muestreo en dos bandas de 2 m de ancho, a lado y lado de cada buzo, separados por 5 m. En cada inmersión se realiza un nado lento perpendicular a la línea de costa desde la parte profunda hacia la somera. Durante el ascenso se estima la cobertura del sustrato por intervalos de profundidad (típicamente 3 m o 10 pies) (figura 12-2).

Actualmente, una opción interesante es el uso de filmación en alta definición con láseres montados que indican el ancho de la banda. Este requiere un análisis posterior pero tiene la ventaja de simplificar el trabajo de buceo si las condiciones son adversas. No se depende tanto de biólogos entrenados, y sobre todo queda un registro objetivo para futuras comparaciones.

En algunos sitios, con una pendiente de más de 30 grados de inclinación, es posible encargar a un buzo que coloque un transecto de 100 m en vertical como guía para las personas que realizan el muestreo.

En tal caso, durante la subida se puede anotar la distancia recorrida en cada intervalo de profundidad. Alternativamente, desde la panga en la superficie, se puede mapear la batimetría con una sonda de mano y GPS (o con un equipo más preciso si se dispone). Tomando una malla de puntos se pueden caracterizar bien los sitios diagnósticos en tres dimensiones para un mejor análisis de cambios en el tiempo.

Registrando los datos

La información se registra en una hoja de campo, la cual está dividida en columnas para cada tipo de hábitat. Para cada intervalo de profundidad o extensión lateral (en metros) se ingresa la escala de abundancia semicualitativa (tabla 12-2) para cada tipo de hábitat identificado, incluyendo '0' (ausente) donde aplica.

Otras consideraciones

Durante el monitoreo de hábitat es importante coleccionar o fotografiar las especies que no han sido identificadas fácilmente durante el monitoreo, registrando la profundidad a la que fue observada y las características específicas que permitan su identificación posterior.

Cama de sargazos, *Sargassum* sp. Cabo Douglas. (Imagen: S. Banks)





Iguana Marina, *Amblyrhynchus cristatus* (Imagen: R. Gallardo)

BÚSQUEDAS DIRIGIDAS PARA ESPECIES AMENAZADAS Y ESPECIES POTENCIALMENTE PROBLEMÁTICAS

13

Entre las >3500 especies conocidas en la reserva marina, más de 600 de ellas son endémicas de las islas, adaptadas dentro el archipiélago, o remanentes de poblaciones extintas del margen continental. Sostenidas por la asombrosa confluencia de aguas frías ricas en nutrientes, estas especies viven en una región ecuatorial tropical muy dinámica con diversas influencias moderadas por varias corrientes en la unión de los dos remolinos oceánicos del Pacífico Este.

La RMG también cuenta con especies errantes de distribuciones más amplias en la cuenca del Pacífico. Muchas de ellas dependen de las islas, estas suelen ser un lugar de descanso en su camino migratorio, una zona de forrajeo y apareamiento, y el sitio principal de anidación en la región. Entre ellas hay especies consideradas amenazadas a escala internacional por la pesca industrial o por la pérdida de sus presas. La RMG y otras reservas del Pacífico figuran como zonas de alivio de dichas presiones.

La atención recibida por grupos de taxónomos para el diseño de medidas de protección no ha sido uniforme en el tiempo. Por necesidad, esta atención se centró principalmente en los grupos de los cuales se tenían datos más extensos sobre sus estados de población y en especies banderas por ser más visibles o de mayor interés para el público (ej. cetáceos, aves marinas, etc.). En el 2007, fue posible reunir suficiente nueva información sobre las tendencias poblacionales en otros grupos menos visibles pero de suma importancia para el funcionamiento del ecosistema (Carpenter et al. 2008) como corales, algas y peces. Al ser incluidos en los procesos de la Lista Roja de la IUCN, llamó la atención su importancia sobre su capacidad de sostener, no solo a otras especies de prioridad para la conservación, sino también a comunidades enteras, en su rol como especies formadoras de hábitats.

La Lista Roja (*Red List*) de la IUCN provee un marco lógico bastante contundente para la estimación del riesgo que tiene una especie, y depende de la formación de grupos de expertos internacionales y locales para trabajar de manera sistemática en los grupos taxonómicos. Para ello, la mayoría de la nueva información y evidencia para estas evaluaciones de especies ha sido recopilada durante las salidas del campo.

"Extinciones en los ecosistemas son más probables a través de aumentos en la magnitud y frecuencia de los eventos climáticos como El Niño que a través de cambios graduales en el clima".

Edgar et al. 2009

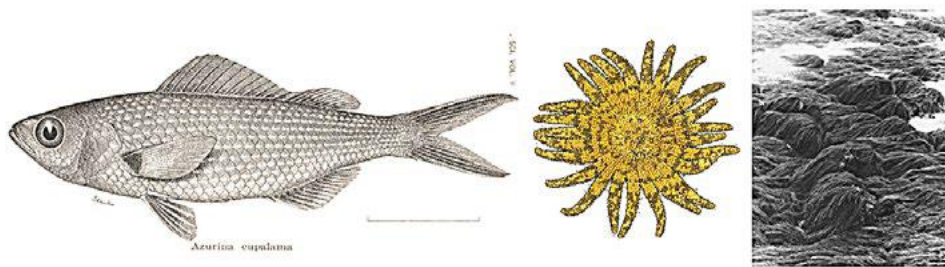


Tortuga Carey, *Eretmochelys imbricata*. (Imagen: R. Gallardo)



Cormorán no volador (*Phalacrocorax harrisi*). (Imagen: S. Banks)

Figura 13-1: Ejemplos de tres especies presumidas extintas luego del evento de El Niño en el 1982-1983. *Azurina eupalama* (izquierda), la estrella *Heliaster solaris* y alga intermareal *Bifurcia galapagensis* (derecha).



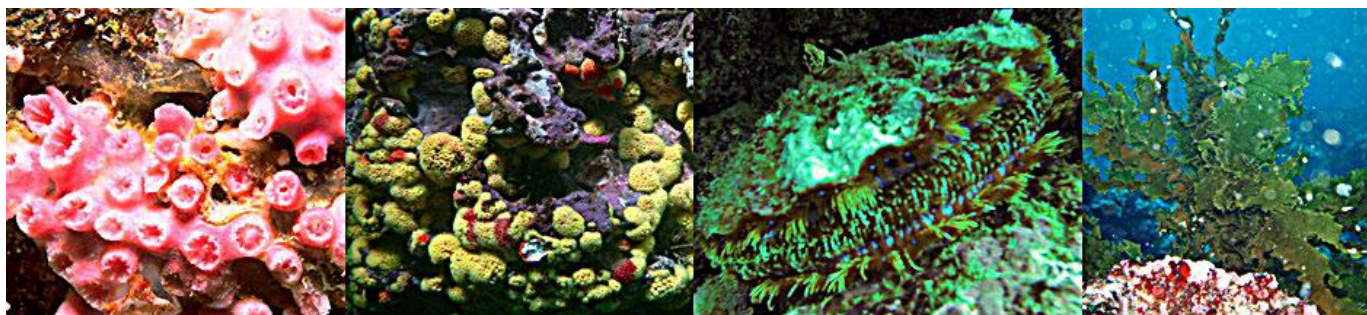
Imágenes de izquierda a derecha: Heller & Snodgrass (dominio público, 1898); CC-FCO colecciones; G. Wellington (1974).

Sensibilidad entre clima y actividades humanas

Muchas especies adaptadas al afloramiento del oeste del archipiélago toleran un rango bastante estrecho de condiciones ambientales en los límites de sus distribuciones naturales. Eventos naturales como El Niño, que aumenta la temperatura superficial y disminuye la extensión y provisión de aguas frías y productivas, suelen tener múltiples efectos negativos sobre las poblaciones en cuanto a cambios de comportamiento, reproducción, mortalidad de crías, etc., lo cual afecta su sobrevivencia como especies. Un ejemplo visible de ello es el pingüino de Galápagos, que tiene un rango de forrajeo bastante restringido cerca de sus nidos en la costa y que depende de surgencias de agua para enfriar sus cuevas de anidación. Sus poblaciones se redujeron a menos de 500 individuos como consecuencia de los últimos eventos fuertes de El Niño 1982-1983, por la caída de la productividad cerca de sus colonias y la desaparición de peces presa como los de la familia *Engraulidae*, además de la presencia de ratas y gatos introducidos que depredaron los nidos en la zona costera.

Otras especies de grupos pocos estudiados por estar escondidos bajo el agua –como ascidias o esponjas– corren el riesgo de desaparecer antes de que podamos siquiera reconocer las señales de alerta. El aumento de la temperatura del mar y la pérdida de producción planctónica probablemente causó la extinción del *Azurina eupalama*, o damisela punto negro, un pez costero bastante común que desapareció tras el evento de El Niño de 1982-1983. Este hecho demostró que hasta especies comunes pueden extinguirse en meses y debió haber dejado como legado una llamada de alerta parecida a la pérdida del Solitario Jorge. La estrella del mar *Heliaster solaris* también desapareció de las islas junto con, al menos, dos especies de algas intermareales, lo cual cambió la dinámica de las playas rocosas de las islas. Varios corales hermatípicos y solitarios redujeron su abundancia y distribución drásticamente y persistieron solo por ciertas caletas protegidas y paredes verticales en el Oeste de Isabela con extensiones menores a 200 m en la costa (figura 13-2).

Figura 13-2: Ejemplos de especies consideradas vulnerables por búsquedas dirigidas durante el monitoreo ecológico 2004-2014. *R. wellingtoni* no ha sido registrado desde el 2003. De izquierda a derecha: *Tubaestrea floreana*, *Rhizopsammia wellingtoni*, *Nodipectens magnificens* y *Eisenia galapagensis*.



Los arrecifes de coral hermatípicos también se vieron afectados por el blanqueamiento como consecuencia de las altas temperaturas sostenidas y el daño físico causado por oleaje excesivo. De las 22 especies registradas, ninguna es endémica ni con amplia distribución en la región de Ecuador hasta México. Sin embargo, tras la pérdida de >95% de los corales entre los dos eventos de El Niño recientes, lo poco que sobrevivió en las islas norteñas ahora alberga a la mayor proporción de biodiversidad de macrofauna del archipiélago asociada con las provincias de Panamá y del Indo-Pacífico. Estas poblaciones enfrentan varias amenazas, incluyendo una alta tasa de enfermedades entre sus poblaciones reducidas (~20%) y daños por anclas arrastradas sobre sus colonias. Como grupo, estos son los primeros impactados por los efectos de la acidificación de los océanos, lo cual impide el crecimiento normal de sus esqueletos de aragonito.

Debido a que no podemos controlar los efectos de gran escala como los eventos climáticos naturales y ENOS, surge la pregunta de cómo podemos mejorar las probabilidades de sobrevivencia de especies que existen naturalmente en el borde de la extinción y si deberíamos interferir o no. De hecho, las islas han contado con la dinámica de ENOS por miles de años y este forma parte de su ciclo natural.

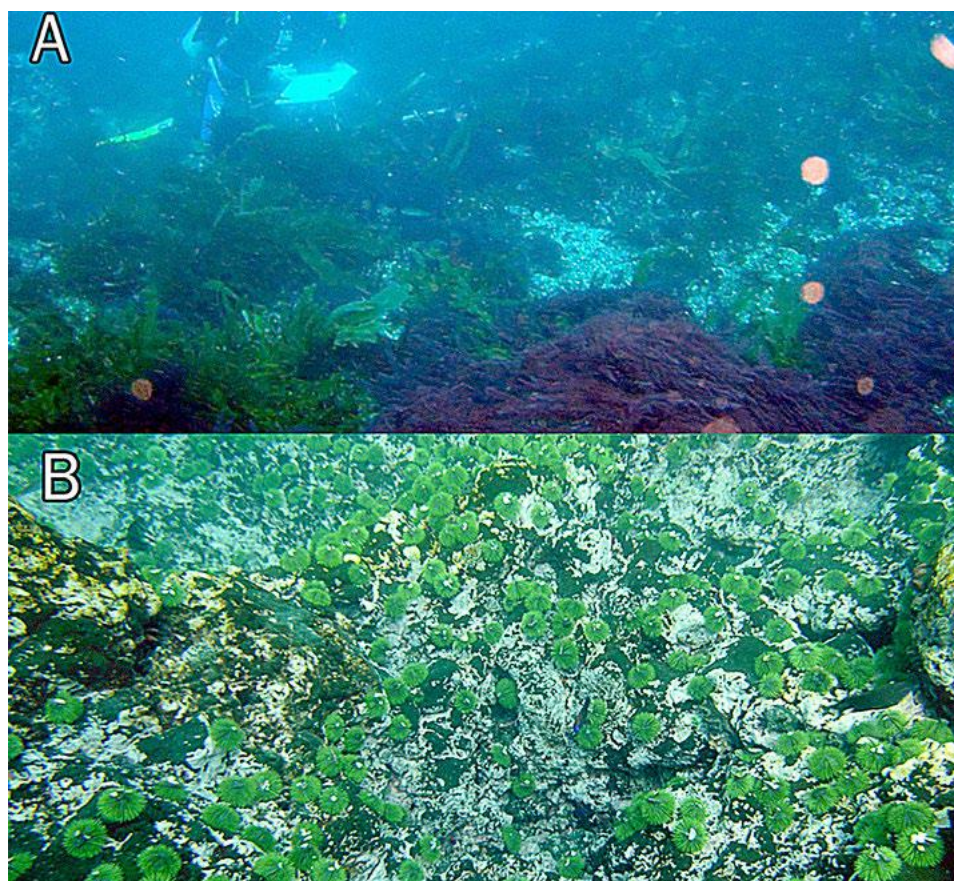
Desde los años 60 existen pruebas de que ha habido poca recuperación de ecosistemas tras los eventos fuertes ENOS (Edgar et al 2009) y que la falta de recuperación coincide con un aumento exponencial del uso de la reserva costera por la pesca, además de otros índices de desarrollo como el tráfico marítimo, el uso de sitios recreacionales y de visita, la contaminación en zonas portuarias y fondeaderos, y una mayor conectividad con la flota internacional y la implicación de especies invasoras marinas que esto supone.

La época de extracción de especies depredadoras de arrecifes fue más intensiva desde los años 90 hasta el 2004, antes del nuevo Plan Capítulo Pesquero de 2006. La remoción de peces como pargos o serranidos adultos y de más alto potencial reproductivo y la langosta adulta ha tenido implicaciones sobre sus roles regulatorios en el ecosistema. Normalmente cumplen un rol de control biológico de especies como erizos de mar o moluscos que son bioerosionadores. Ciertas especies presa como el lapicero *Eucidaris galapagensis* o el gasterópodo *Lithophagia* pueden infiltrar y romper el coral debilitado. Otras, como el *Lytechinus semituberculatus*, debilitan las tallas de macroalgas o pastorean encima de los reclutas de coral y algas. Comen en abundancia –dejando roca desnuda– y descargan grandes cantidades de larvas, las cuales se asientan e inician el ciclo en otro lugar. Experimentos *in situ* de largo plazo por Witman et al. siguen averiguando con nuevos sistemas autónomos de captura de video la importancia de estos vínculos tróficos.

Figura 13-3: *Pocillopora* Sp. blanqueado a lado de *Pavona clavus* (flecha amarilla) demuestra la diferencia de vulnerabilidad al estrés termal entre especies de coral en el mismo arrecife (imagen J.Witman).



Figura 13-4: (A) Camas de macroalgas del kelp vulnerable, *Eisenia galapagensis*, que representan un hábitat complejo para muchas especies fueron desplazadas con la llegada del erizo verde *Lytechinus* (B) en solo 5 meses en el 2007 (Oeste de Fernandina). Imágenes; S.Connell (arriba) y D.Ruiz (abajo).



Lo que ha resultado de un legado de observaciones, análisis y anécdotas de los primeros colonos de las islas sugiere que hasta ahora no había un regreso al estado considerado prístino, es decir, a un sistema no perturbado. Aún queda un interrogante sobre si es ético, posible y práctico aplicar escenarios de restauración correctivos en el ambiente marino (como manipulación de poblaciones de erizos) sin causar mayor perturbación por las interacciones complejas, o si realmente es mejor enfocarse en cómo mitigar las presiones, en la medida de lo posible, para que un ecosistema encuentre un nuevo equilibrio natural.

Dada la incertidumbre de los impactos a gran escala causados por el cambio climático global y sus efectos sobre ENOS, es urgente que sigamos estudiando el grado de recuperación de zonas extractivas y santuarios y el rol de la biodiversidad de áreas conectadas por corrientes. La respuesta común durante los intervalos entre eventos ENOS fuertes nos informará si el diseño del APM requiere una modificación. Comparaciones entre regiones sugieren que la pérdida de biodiversidad en grupos submareales ha tenido impactos subestimados sobre el funcionamiento ecosistémico (Mora et al. 2011).

Por esta razón es importante conocer dónde se encuentran las poblaciones drásticamente reducidas y, como medida puntual, identificar y asegurar un uso de la zona que no perjudique la sobrevivencia de las especies ni sus posibilidades para una futura recuperación. Otras medidas más amplias como la zonificación costera y el calendario pesquero apuntan a encontrar un balance práctico entre las necesidades de los usuarios de la RMG con base en una composición saludable de los grupos funcionales en la comunidad submareal.

Tabla 13-1: El registro de peces y macroinvertebrados móviles costeros poco comunes considerados amenazados según criterio de UICN Lista Roja (v2013.2).

***Azurina eupalama* (Damisela punta negra) En Peligro Critico (CR)**

Esta especie se registró ocasionalmente en todo el archipiélago antes de 1983 – Floreana, Española (la bahía de Gardner), Isabela (Caleta Tagus), Marchena, Santiago (James Bay, Bahía de Sullivan), San Cristóbal (Wreck Bay), Santa Cruz (Bahía Academia, Plazas Norte) y Santa Fe. Se ha registrado que esto mismo ocurrió alrededor de la Isla del Coco (Costa Rica) por Grove & Lavenberg (1997) antes el 1983. Las cifras de la población se desplomaron durante el 1982/83 El Niño (Grove 1985) y no han habido avistamientos nuevos desde entonces. Esta considerado como probablemente extinto.

***Chriolepis tagus* (Mystery goby) Deficiente en datos (DD)**

El registro único es de una sola muestra en 20-40 m de profundidad en Tagus Cove en 1934 (Grove & Lavenberg 1997). Se desconoce su estado.

***Heliaster solaris* (Twenty-four-rayed sun star) No evaluado (NE)**

Esta estrella de mar tiene una distribución muy restringida, solo ha sido registrada en Fernandina (Punta Espinoza) y sin ningún avistamiento desde 1983 (Hickman 1998). Hickman (1998) considera que es endémica de Galápagos, mientras que Boone (1933) calificó a un espécimen colectado desde Punta Arenas, Costa Rica, como perteneciente a esta especie. Si Boone está en lo correcto, entonces el estado crítico de peligro de extinción de esta especie no es compatible con la información actual, y su categoría debe ser de "datos insuficientes" hasta que la densidad de población continental o los datos de tendencia estén disponibles. Caída de la población desde 1982-1983: >99%.

***Clypeaster elongatus* (Elongate heart urchin) No evaluado (NE)**

El registro único es de una sola muestra a 5 m de profundidad en la Isla Seymour norte en 1934 (Clark 1948). Carece de un estudio de línea base apropiado (comunidades de fondos blandos).

***Neorapana grandis* (Great rocksnail) No evaluado (NE)**

Hickman y Finet (1999) consideran a este molusco como relativamente común antes del fenómeno de El Niño de 1982-1983 y poco común en la actualidad. Algunos juveniles han sido registrados en Bahía Academia, Santa Cruz, narcotizados por derrames de diesel en años recientes. Caída estimada de la población desde 1982: >70%.

***Nodipecten magnificus* (Magnificent scallop) No evaluado (NE)**

Antes de 1983 era avistado con frecuencia en Isabela, Fernandina y San Cristóbal (Wreck Bay). Los números disminuyeron notablemente en febrero de 1983 durante El Niño con un 100% de mortalidad de animales, evaluado por Robinson (1985) en marzo de 1983. Información anecdótica suministrada por pescadores indica que los animales fueron capturados para alimento hasta 1992 aproximadamente, pero han ocurrido avistamientos ocasionales reportados desde 1995, incluyendo más animales encontrados durante los censos cuantitativos de la ECCD hasta el 2014 y el reclutamiento en las trampas de pepinos de mar que sugiere cierta recuperación. Caída estimada desde 1982: > 90%

***Hexapanopeus cartagoensis* (Cartago crab) No evaluado (NE)**

Este pequeño cangrejo fue recogido a una profundidad de entre 6 m y 33 m en Bahía Cartago (Isabela) en 1933, 1934 y 1938, pero no se ha visto desde entonces (Garth 1939).



Poblacion restante del coral de copa, *Tubastraea taguensis*, Caleta Tagus, Isabela. (Imagen: A. Chiriboga)

Tabla 13-2: El registro de corales ahermatípicos sésiles considerados amenazados según criterio de UICN Lista Roja (v2013.2).

***Rhizopsammia wellingtoni* (Wellington's cup coral) En Peligro Crítico (CR)**

Antes del evento ENOS 1982-1983, Glynn y Wellington (1983) reportaron que *R. wellingtoni* fue más abundante (aproximadamente 13% de la cobertura superficial media) a 15 m de profundidad en Caleta Tagus, Isabela. Después del evento de El Niño de 1982-1983 la mayoría de colonias de *Rhizopsammia wellingtoni* fueron destruidas, a excepción de las colonias en Cousins y Rocas Gordon (Hickman 2005). Humann (com. pers. a Hickman) observó y fotografió una colonia en Cousins y otra en Rocas Gordon en 1993; y en los años 90 tomó una fotografía de la colonia en las Rocas Gordon. Witman y Smith (2003) observaron *R. wellingtoni* dentro de sus fotocuadrantes permanentes en Rocas Gordon en 1999 y en el 2000. Desde entonces, no se ha observado esta especie en las Rocas Gordon, Cousins ni en cualquier otro lugar a pesar de recientes búsquedas específicas.

***Tubastraea floreana* (Floreana cup coral) En Peligro Crítico (CR)**

Antes de 1983, *Tubastraea floreana* era conocida en Caleta Iguana, Isabela; Bucanero, Santiago; Cousins cerca de Santiago; Pinzón; Playa Prieta, Floreana y el islote Gardner cerca de Floreana (Wells 1983, Cairns 1991). Sin embargo, después de El Niño de 1982-1983, no se registraron *T. floreana* en ningún sitio hasta principios de los 90, cuando P. Humann observó y fotografió tres colonias en Cousins, cerca de Santiago (P. Humann com. a C. P. Hickman). Según P. Humann (com. pers. a Hickman), estas colonias se observaron anualmente hasta el 2001 pero no han visto desde entonces. A pesar de haber realizado búsquedas específicas en todo el archipiélago, las únicas colonias encontradas durante la última década fueron observadas en el islote Gardner, cerca de Floreana en el 2004 (A. Chiriboga com. pers.).

***Tubastraea taguensis* (Tagus cup coral) No evaluado (NE)**

T. taguensis es una especie poco común en las islas Galápagos que ha disminuido considerablemente desde El Niño 1982-1983. En la actualidad, este coral es conocido solo en un sitio de Playa Tortuga Negra, Isabela, donde están presentes grandes colonias (Hickman 2005). Sin embargo, *T. taguensis* alguna vez fue considerada por Glynn y Wellington (1983) como el coral ahermatípico más abundante en Caleta Tagus, Isabela, con una cobertura media que iba desde el 10% hasta casi el 30% de la cobertura total de epibentos. Por otra parte, *Tubastraea taguensis* solía ser común en Cousins, cerca de Santiago, (Glynn y Wellington 1983).

***Polycyathus isabelae* (Isabela cup coral) Vulnerable (VU)**

P. isabelae es una especie endémica poco común (Hickman 2005) que solo ha sido registrada en tres sitios de la isla Isabela: Punta Albemarle, Punta Vicente Roca y Caleta Iguana. El estado poblacional del *type* en Punta Albemarle es desconocido, aunque la especie no ha sido avistada en búsquedas recientes en esa región. La población en Punta Vicente Roca, registrada en el 2003, no se ha visto después de ese año, a pesar de que este sitio ha sido encuestado estacionalmente desde el 2000 (Chiriboga, Hickman y Edgar, com. pers.), a excepción de una observación sin confirmar (M.Vera, pers. comm 2006). Además, otra pequeña colonia fue avistada en el 2004 en Caleta Iguana, Isabela durante las búsquedas submarinas (Chiriboga, Hickman y Edgar com. pers.).

Tabla 13-3A: El registro de algas marinas consideradas amenazadas según criterio de UICN Lista Roja, (continúa en la tabla 13-3B).

***Bifurcaria galapagensis* (Galapagos stringweed) En Peligro Crítico (CR)**

Antes de 1983, esta alga fue altamente visible en las zonas submareales, intermareales y superficiales inferiores de San Cristóbal (Wreck Bay), Floreana (Punta Cormorán, playa negra), Pinzón, Rábida, Santa Cruz (frente a las Rocas Gordon, Caamaño, Bahía Academia), Fernandina (Punta Espinosa), Isabela (Puerto Villamil, Caleta Tagus), Plazas, Seymour y Santa Fe. Cinelli & Colantoni (1974) reportaron *B. galapagensis* en 5 de 8 sitios muestreados entre 1971 y 1972; Mead et al (1972), en 5 de 29 sitios de buceo en 1972. Wellington (1975) también hace hincapié en la abundancia de las especies alrededor de Santa Cruz y otras islas centrales durante la década de 1970. Durante febrero de 1983, parecían poco saludables con adelgazamiento de los hapterios (estructuras de fijación de las algas) en los ejemplares estudiados por Robinson (1985), y la especie había desaparecido en marzo de 1983. Desde 1984, fue avistado un solo parche pequeño (20 m x 10 m) y una muestra fue recogida en el oeste de Isabela en Caleta Iguana en el 2001 con otro espécimen recogido en Fernandina (al sur de Cabo Douglas). Un posible avistamiento fue registrado por Garske (2002) cerca de Las Cuevas en Floreana norte en el 2002. Caída estimada desde 1982: >99%

***Desmarestia tropica* (Tropical acidweed) En Peligro Crítico (CR)**

Grabado en tres ocasiones en enero de 1934 en la bahía de Post Office (Floreana) entre 14 m y 60 m de profundidad por Taylor (1945). Una colección fue reconfirmada en un crucero de investigación en enero del 2007 al oeste de Isabela.

Tabla 13-3B: El registro de algas marinas consideradas amenazadas según criterio de UICN Lista Roja, (continuación de tabla 13-3A).

***Eisenia galapagensis* (Galapagos kelp) Vulnerable (VU)**

Antes de 1983, el kelp se registró en Isabela (Caleta Iguana), Santa Cruz (Bahía Academia, Caamaño), Santa Fe, Marchena (*North Bay*), Fernandina (Punta Espinosa) y Floreana (*Post Office Bay*, playa negra). Cinelli y Colantoni (1974) lo reportaron en 1 de 8 sitios muestreados entre 1971 y 1972; Mead et al (1972), en 4 de 29 sitios en 1972. Wellington (1975) observó que las algas fueron especialmente abundantes en profundidad alrededor de Caleta Iguana (Isabela) durante sus estudios. Sin embargo, no hubo ningún avistamiento confirmado hasta la recolección de una muestra en el 2004 y el posterior redescubrimiento de algas profundas locales extensas durante un crucero de búsqueda en enero del 2007 en Caleta Iguana, Isabela y Fernandina occidental.

***Dictyota galapagensis* (brown alga) En Peligro Critico (CR)**

Registrada en al menos seis sitios y considerada bastante común y abundante desde 1975 (Wellington) –particularmente en el oeste–, esta alga grande no ha sido registrada en estudios posteriores.

***Spatoglossum schmittii* (brown alga) En Peligro Critico (CR)**

Recogidas a través de al menos ocho sitios desde 1934 a 1978, esta alga endémica no ha sido registrada desde entonces. Está en peligro crítico de extinción y hasta posiblemente extinta.

***Gracilaria skottsbergii* (red alga) En Peligro Critico (CR)**

Solo se conoce de las colecciones originales de Taylor (1945) en 1934 a 15 m y 27 m de profundidad en Floreana (*Post Office Bay*).

***Galaxaura barbata* (red alga) En Peligro Critico (CR)**

Es endémica y conocida únicamente por las colecciones originales de Taylor (1945) en 1934 a 13 m y 18 m de profundidad en Floreana (*Post Office Bay*) y Santa Cruz (Chiriboga, pers.comm), y una colección en 1963 (Dawson 1963).

***Phycodrina elegans* (red alga) En Peligro Critico (CR)**

Un alga endémica rara, conocida de siete colecciones antes de 1977.

***Sargassum setifolium* (String sargassum) En Peligro (EN)**

Antes de 1983, fue encontrado en Fernandina (Punta Espinosa), Isabela (Caleta Black, Caleta Tagus), Floreana (Campeón), San Cristóbal, Santiago, Santa Cruz y Bartolomé. Desde 1983, se ha registrado en el 2001 en Isabela (Las Marielas), flotando suelto en Santa Cruz (Tortuga Bay). Caída estimada desde 1982: >90%

***Dictyota major* (brown alga) Deficiente de datos (DD)**

Un alga poco comun considerada endémica y registrada en 3 sitios del archipiélago central / sur oriental en muestras históricas de draga, potencialmente redescubierta durante un crucero en el 2004.

***Galaxaura intermedia* (red alga) Deficiente en datos (DD)**

Condicion desconocida.

***Laurencia oppositoclada* (red alga) En Peligro Critico (CR)**

Solo se conoce de especímenes recolectados por Taylor (1945) en 1934 y Mead et al (1974) en Floreana (Playa Negra, Champion) e Isabela (Bahía Urvina, Punta Christopher).

***Myriogramme kylinii* (red alga) En Peligro Critico (CR)**

Solo se conoce de la ubicación original de la especie en Santa Cruz (Bahía Academia), donde fue recogida y descrita por Taylor (1945) en 1934.

***Pseudolaingia hancockii* (red alga) Vulnerable (VU)**

Solo conoce de la ubicación original de la especie en Santa Cruz (Bahía Academia), donde fue recogida y descrita por Taylor (1945) en 1934.

***Acrosorium papenfussii* (red alga) Vulnerable (VU)**

Alga endémica conocida solo de la colección de draga del *type* original muestreada en Bahía Academia, Santa Cruz (Taylor 1945).

***Schizymenia ecuadoreana* (red alga) En Peligro Critico (CR)**

Alga endémica de aguas profundas, difícil para el ID, originalmente observada por Taylor (1934), común en *Bahia Post Office*, Floreana; hoy considerada rara.

Figura 13-5: Ejemplos de especies presentes en la RMG y consideradas potencialmente problemáticas por sus impactos en otras regiones y su capacidad para alterar la estructura de las comunidades marinas.

Taxonomía	Foto	Especies	Estado
<p>Phylum: <i>Chlorophyta</i></p> <p>Familia: <i>Caulerpaceae</i></p>		<p>Alga uva</p> <p>(<i>Caulerpa racemosa var. occidentalis</i>)</p>	<p>Farlow la reporta en Isabela en 1899. Allan Hancock Exp. reporta las variedades <i>occidentalis</i> y <i>uvifera</i> (aceptada posteriormente como <i>C. racemosa</i>) en varias islas. Se encuentra en bahías y lagunas de fondos arenosos en varias partes del archipiélago con mayor densidad en sitios protegidos y someros. Su distribución nativa es el mediterráneo. Esta alga puede cubrir áreas extensas y dificulta el intercambio de oxígeno de los sedimentos e impide que ciertas especies puedan alimentarse.</p>
<p>Phylum: <i>Rhodophyta</i></p> <p>Familia: <i>Bonnemaisoniaceae</i></p>		<p>Plumero común</p> <p>(<i>Aspargopsis taxiformis</i>)</p>	<p>Registrada para Galápagos (ver ref.) en 1962, <i>A. taxiformis</i> es una especie de aguas cálidas y tropicales, con un rango de temperatura cuyo mínimo no baja de 15-16°C. El primer registro lo hizo Dawson en Bahía Academia en 1962. Tiene una distribución amplia sobre todo en las islas occidentales.</p>
<p>Phylum: <i>Arthropoda</i></p> <p>Familia: <i>Gecarcinidae</i></p>		<p>Cangrejo azul</p> <p>(<i>Cardisoma crassum</i>)</p>	<p>Según Hickman, es introducido. Ahora está incluido en el <i>checklist</i> de invertebrados introducidos en Galápagos (FCD-PNG 2013). Sin embargo, en 1966 Bright cita esta especie en Galápagos en una publicación sobre Costa Rica. Finalmente Garth, en su trabajo sobre <i>Brachyuros</i> de Galápagos de 1991, lo cita como ausente en Galápagos. De carácter invasivo no determinado, pero con distribución amplia y críptica durante monitoreos entre el 2012 y 2014.</p>
<p>Phylum: <i>Bryozoa</i></p> <p>Familia: <i>Bugulidae</i></p>		<p>Briozoo marrón</p> <p>(<i>Bugula neritina</i>)</p>	<p>Primer registro para Galápagos en la década de los 30 por las expediciones Allan Hancock. Actúa como <i>fouler grave</i> y crece libremente con una distribución amplia en la RMG.</p>
<p>Phylum: <i>Cnidaria</i></p> <p>Familia: <i>Pennariidae</i></p>		<p>Hydroide</p> <p>(<i>Pennaria disticha</i>)</p>	<p>Primer registro para Galápagos en la década de los 30 por las expediciones Allan Hancock. Tiene una amplia distribución en las islas.</p>
<p>Phylum: <i>Acanthasteridae</i></p> <p>Familia: <i>Pennariidae</i></p>		<p>Corona de espinas</p> <p>(<i>Acanthaster planci</i>)</p>	<p>Avistado en 1998 por Hickman en la Isla Darwin después del evento de El Niño, con solo dos observaciones de individuos en el 2004 y 2008 en el fondeadero. Esta estrella coralívora grande ha causado gran pérdida de arrecifes en la Gran Barrera de Arrecife de Australia a causa del blanqueamiento y la renovación de sus controles naturales (un caracol) por la sobrepesca.</p>



Búsquedas dirigidas en el submareal

El monitoreo submareal siempre se presta para nuevas observaciones y tiene la ventaja de volver a visitar sitios con el tiempo en la mayoría de las islas de la RMG e identificar cualquier especie novedosa. Sin embargo, normalmente está limitado a dos profundidades y a extensiones de 50 m de largo. Los buzos se concentran en sus grupos de monitoreo y solo cuentan especies visibles –no crípticas–, sin perturbar el suelo, las rocas, ni otras superficies.

Las búsquedas dirigidas pueden ser orientadas a un grupo taxonómico y deben contar con expertos locales y/o externos que ayuden con la identificación. Se realizan por una pareja de buzos en un periodo de 30 a 40 minutos y se trabaja en una profundidad desde los 40-30 m, subiendo lentamente a 4-2 m mientras se busca activamente entre las rocas.

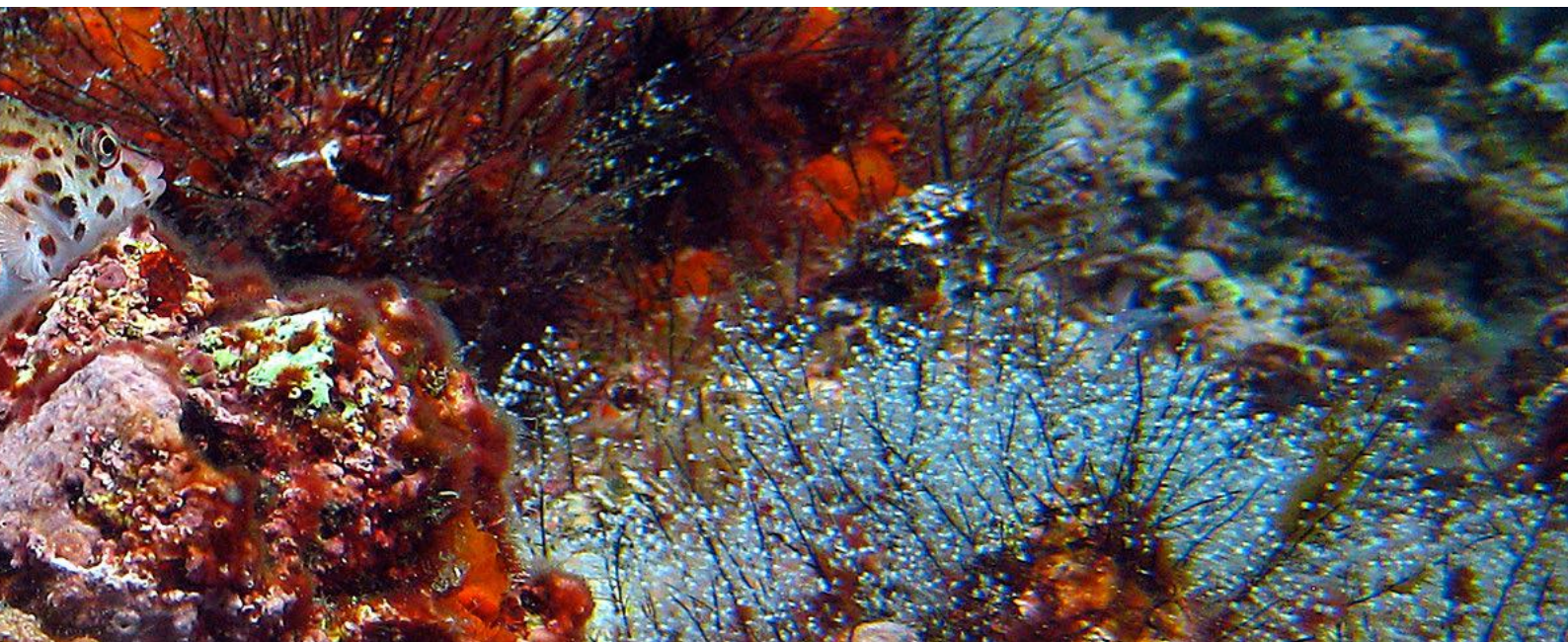
Se debe llevar cámaras para documentar cualquier especie nueva o especies de interés, y fundas para la colección de muestras, si es necesario, para registrar bien cada observación. Si se encuentra algo muy específico (ej., un alga roja o una especie de coral) se debe concentrar sobre el hábitat y el rango de profundidad donde hay una mayor probabilidad de encontrar individuos o donde ha habido avistamientos históricos en la literatura o por otros observadores. De tal modo, es posible combinar modelos de preferencia de hábitat con registros históricos y reencontrar especies vulnerables como el kelp *Eisenia galapagensis* (Graham et al. 2007).

Una lista de especies poco comunes que cumplen con criterios de especies amenazadas de la UICN (o candidatos de grupos no evaluados todavía) y las localizaciones donde encontraron ejemplares durante el último siglo está resumida en las tablas 13-1, 13-2 y 13-3.

En el 2007, 45 especies marinas de Galápagos cumplieron con criterios de especies amenazadas y fueron publicadas en la Lista Roja de la UICN.

En el 2007, 45 especies marinas de Galápagos cumplieron con criterios de especies amenazadas y fueron publicadas en la Lista Roja de la UICN: 5 mamíferos, 6 aves, 6 peces, 1 equinodermo, 7 corales, 6 algas pardas y 9 algas rojas (Edgar et al. 2009). En el 2013, se identificaron 6 especies potencialmente problemáticas (figura 13-5) de las que habría que hacer seguimiento y 18 especies de alto riesgo como potencialmente invasoras (las cuales hasta ahora no han sido registradas en la RMG). Las tendencias poblacionales de estas especies y los nuevos registros constan en una lista que la FCD y la DPNG actualizan cada año.

Pez Halcón de coral, *Cirrhichthys oxycephalus* en arrecife rocoso (Imagen: R. Gallardo)





Coral hermatipico *Porties lobata* a 10 m, Bahía Tiburón, Wolf. (Imagen: A. Chiriboga)

14

MAPEO Y MONITOREO DE ARRECIFES CORALINOS

"Un tercio de los arrecifes de corales enfrentan un elevado riesgo de extinción del cambio climático y los impactos locales".

Carpenter et al.
Science 2008



Pocillopora Sp. (Imagen: M. Vera)



Buzos tomando medidas sobre los corales
(Imagen: M. Vera)



Porites lobata (Imagen: M. Vera)

La dramática reducción de los corales zooxantelados durante los eventos de bioerosión y blanqueamiento desde El Niño 1982-1983 han resultado en una amplia pérdida y fragmentación del hábitat de coral en el archipiélago. Los extensos arrecifes coralinos se redujeron en un 97% después de 1983 y en un 26,2% (sobre las colonias que restaban) durante El Niño de 1997-1998.

La lenta recuperación natural (unos 7-14 años en Darwin) de nuevas reclutas y la creciente preocupación sobre los riesgos potenciales para los corales por el cambio climático global, plantean importantes preguntas de conservación así como su apropiada protección dentro de una reserva multiuso.

La comunidad más grande de corales remanentes en las islas Wolf, Darwin y Marchena (Punta Espejo) fueron evaluadas en el 2007 con la finalidad de proveer información más actualizada de su condición en una línea base comprensiva, y como base para futuras evaluaciones de los efectos del cambio climático, del uso humano, así como de la efectividad del manejo sobre estos últimos y persistentes sistemas de arrecifes.

A pesar de su limitada extensión, los pináculos norteños de Wolf y Darwin sostienen un ensamblaje único de peces tropicales y de grandes pelágicos que se asocian con las estructuras de coral hermatípicos, lo cual constituye 2/3 de la riqueza de especies del Indo-Pacífico y las Panámicas de la RMG. Estos forman semilleros para muchas especies, son un refugio para juveniles y representan un mayor atractivo para la oferta turística de buceo en las islas (figura 14-1).

El programa de monitoreo adaptado del protocolo de AGRAA (*Atlantic Gulf Rapid Reef Assessment*) se ha repetido anualmente por transectos lineares de intercepción y en complots fijos instalados en sitios de las islas Wolf y Darwin. También ha habido monitoreos al norte de islas como Floreana y Española (Bahía Gardner) las cuales suelen ser las más afectadas más por golpes de agua fría durante episodios de La Niña. Finalmente, se hizo un levantamiento de información sobre las grandes camas de colonias formadas por *Porites lobata* y *Psammocora stellata* encontrados vivos y sueltos como escombros.

Esta información esta resumida en Banks et al. (2009). Se complementa con trabajos pioneros y claves desde los años 70 llevados a cabo por los expertos: el Dr. Peter Glynn; y en el caso de los corales fungidos (ubicados en pocos sitios de Floreana y Española) y corales ramificados, el Dr Joshua Feingold.

Dos técnicas de monitoreo

Aplicamos la metodología del monitoreo submareal, el mapeo de hábitat y las mediciones oceanográficas (tabla 14-1) para complementar transectos dedicados a corales a 15 m y 6 m de profundidad (descritos aquí).

Para el monitoreo de comunidades coralinas es recomendable establecer: (1) transectos lineares para caracterizar la estructura bentónica de la zona y recopilar información sobre la salud de las colonias, (2) y parcelas permanentes que permitan la replicación del monitoreo a través del tiempo sobre una sección de la misma comunidad (tabla 14-2). Aunque el enfoque se centra en el estado de salud de los corales, también queremos conocer el estado de la comunidad de peces, algas e invertebrados asociados a ellos.

Normalmente se requiere de varias inmersiones con dos grupos de dos buzos que trabajen simultáneamente. Es útil contar con dos buzos de respaldo, encargados de colocar y retirar las cintas y señales visuales entre buceos. Se debe planificar y adaptar el orden y los tiempos de las inmersiones con base en el avance del trabajo del equipo.

1. Transectos con puntos de intersección

Para la caracterización de una zona extensa hemos utilizado transectos de 50 m a 400 m a lo largo de 15 m a 6 m de profundidad. Un equipo de dos buzos trabaja registrando las medidas morfométricas y evaluando la condición de cada colonia que se cruce en la cinta (ver detalles de muestreo a continuación). Normalmente, por tratarse zonas de alta densidad con diversas especies, se trabaja en tramos de 10 m con intervalos de 10 m para tener una mayor representatividad a lo largo del transecto (tomando en cuenta el tiempo limitado para el buceo) y registrando los puntos del inicio y fin con GPS (ver el mapeo de hábitat, sección 12), lo cual se puede realizar al mismo tiempo.

Cuando se identifica una colonia que cruza la cinta, un buzo registra la posición donde inicia y donde termina y procede a tomar las medidas de ancho y altura y las observaciones de su condición (figura 14-2A).

Figura 14-1: Reclutamiento de peces juveniles sobre *Pavona* sp., Isla Wolf, Bahía Tiburón a 12 m. Los arrecifes de corales suelen ser sitios particularmente productivos.



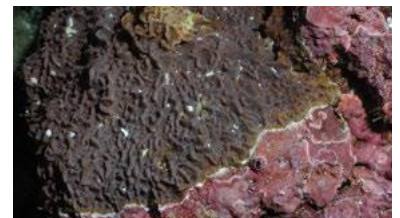
Cardumen de peces juveniles sobre corales *Pavona clavus* (Imagen: M. Vera)



Coral ramificado, *Pocillopora* sp. (Imagen: A Chiriboga)



Coral hermatipico, *Pavona varians* (Imagen: A Chiriboga)



Coral hermatipico, *Pavona varians* (Imagen: G. Edgar)

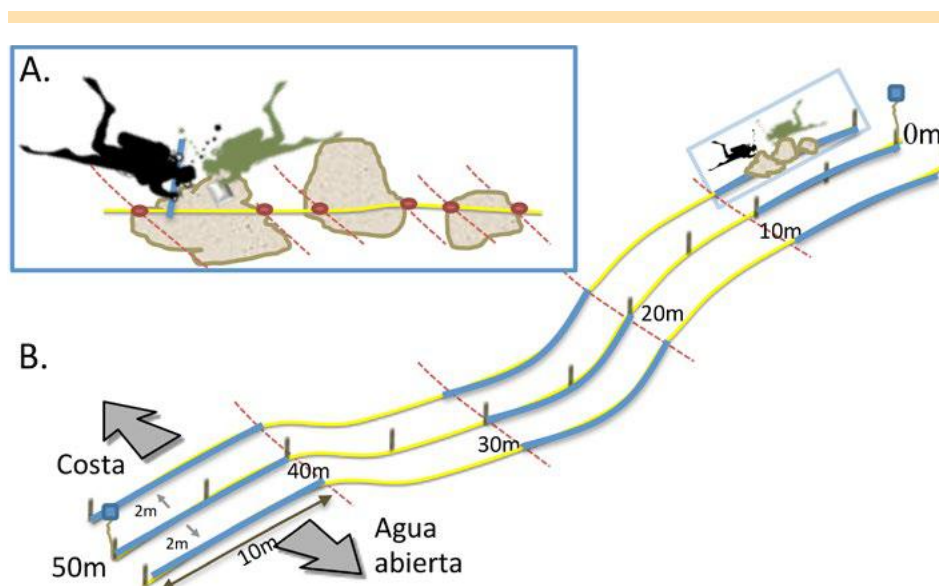


Figura 14-2: Buzos toman puntos de intersección para cada colonia que evalúan. (B) Una parcela fija para el monitoreo de corales con 3 tramos de 10 m en 3 secciones, todo en una sola profundidad (normalmente entre 15 m y 6 m).

Tabla 14-1: Tipos de muestreo aplicados al monitoreo de las comunidades de corales hermatípicos.

Tipo de muestreo	Objetivo	Método	Procesamiento de datos
Transectos de intercepción para corales (en segmentos de 10 m con intervalos cada 10 m)	Caracterizar a las colonias de corales en términos de composición de las especies y las medidas morfométricas.	Un buzo especialista en identificación de coral trabaja con un asistente con una vara de medición para registrar el punto centroide de cada colonia sobre la línea del transecto, el diámetro máximo y la altura de coral desde el base de la colonia. Otros datos de salud de los corales (blanqueo, depredación, infección, etc.) son recogidos para cada colonia.	Abundancia de especies de corales ordenados (<i>rank</i>) por la cobertura de superficie promedio por Colonia / 100 m a lo largo de la isobata de 15 m y 6 m de profundidad para cada área de estudio, con el tamaño de la colonia promedio por especie. Una estimación aproximada del área de la colonia se calcula desde la superficie superior de una forma cónica basada en el diámetro y la altura desde la base.
Mapeo de hábitat en escala fina (sección 14)	Determinar las proporciones relativas de sustrato y especies que forman hábitat utilizando un método estandarizado (aplicado en todo el resto de la RMG).	Se estima una franja continua de 2 m a lo largo del transecto. Cada 10 m (o menos) en el lugar donde se observó una marcada transición, se hace una estimación de la cubierta del fondo para los tipos de sustrato, epífitas y epifauna utilizando una escala semicuantitativa (0 – ausente; 1 - individuo solitario; 2 - ocasional >0-2%; 3 – común 2-25%; 4 - abundante 25-75%; 5 – completo 75-100%)	Para representar las estimaciones semicuantitativas, se calculan áreas de segmentos del transecto para cada clase de sustrato contra el rango mínimo y máximo para la categoría de la escala grabada y sumadas. Cada área máxima y mínima para cada clase de sustrato fue ajustada contra el área total muestreada y el valor del punto medio utilizado para las clases de sustrato sobre el muestreo del transecto área. El error porcentual es calculado a partir de las estimaciones mínimas y máximas.
Censos submareales a nivel de comunidad (secciones 9-11)	Proporcionar el inventario de especies, abundancia relativa y estructuras de tamaño de población de especies bentónicas sésiles, especies de macroinvertebrados móviles y peces de arrecife.	Toma de datos sobre la riqueza de especies, abundancia y su estructura de tamaño a lo largo de 50 m de un transecto. Para peces, a lo largo de un corredor de 5 m x 5 m; una franja de 1m ² para macroinvertebrados móviles en intervalos de 5 m de largo; y porcentaje de cobertura de especies sésiles usando 10 cuadrantes de 0.25 m ² que contienen 81 puntos de intersección, separados cada 5 m.	Los datos de los censos comunitarios están recopilados por la estación de muestro en los sitios replicados a 50 metros de distancia entre cada área de estudio y resumidos por análisis multivariado (MDS, etc.).
Muestreo oceanográfico	Caracterizar la variabilidad climática como factor forzante que afecta la dinámica de los corales y su salud, y determinar su efecto sobre la composición de la comunidad submareal.	Instalación de sensores submareales a 20 m y 10 m de profundidad dentro de los arrecifes de coral (generalmente se utilizan registradores de temperatura de Onset). Un instrumento oceanográfico (SeaBird Electronics 19-Plus (v2) CTD-Fl) se utiliza para perfiles de columna de agua en alta mar a 100 m de profundidad para caracterizar temperatura, salinidad y clorofila-a. Uso de trampas de sedimento.	Los datos descargados están transformados en series de tiempo, de temperatura y de profundidad para los perfiles verticales de temperatura, salinidad y clorofila-a (productividad inferido de fluorescencia) para correlación con los datos biológicos.



Coral ramificado, *Pocillopora damicornis*
(Imagen: A Chiriboga)

2, Parcelas fijas (*fixed plots*)

Desde el 2007 hubo un esfuerzo dedicado a mejorar la línea base de corales con la caracterización de Wolf, Darwin y Marchena (Punta Espejo) donde se establecieron cuatro puntos con complots fijos en los sitios de Tres Cuevitas en Floreana, Wolf Corales (Bahía Tiburón), y Darwin Fondeadero Norte. Aquellas parcelas están en zonas donde el turismo no está permitido para no obstruir la actividad y forman parte de los sitios diagnósticos establecidos en el 2004 para el monitoreo de comunidades submareales de largo plazo. Información de peces y especies sésiles que incluyen algas está recopilada y complementa el monitoreo de corales descrito aquí.

Los complots fijos deben estar marcados con varillas de hierro cada 5 m y con amarres plásticos numerados para indicar el rumbo del transecto. La cinta colocada por cada barra asegura un eje central y referencial para la parcela. Las varillas de hierro están instaladas de manera perpendicular a 2 m de cada lado, desde el inicio hasta el final, para establecer un cuadrante de muestreo de 50 m x 4 m.

Tabla 14-2: Consideraciones para el uso de complotos fijos y transectos al azar.

Sitios permanentes (fijos)	Sitios no permanentes
Tiempo necesario para establecer, marcar y mantener los sitios permanentes y saber cómo encontrarlos sin perder tiempo de buceo.	Una vez establecida la zona de muestreo, se puede repetir el monitoreo con relativa facilidad, al azar.
Se puede profundizar en la toma de datos sobre el perfil físico y otros aspectos en el sitio entre visitas para entender mejor procesos y comportamientos funcionales.	Mejor representación del área si hay mucha heterogeneidad en el espacio.
La interpretación de datos no cuenta con tanta variabilidad espacial.	No se pueden visitar efectos al nivel de colonias específicas con facilidad.
Si no se realiza correctamente este tipo de monitoreo con sitios permanentes, no es mejor que con sitios al azar.	Requiere una replicación estadísticamente adecuada.
Facilita el uso de fotocuadrantes comparativos y seguimiento de colonias marcadas través del tiempo.	Mejor representatividad sobre un área más amplia.

Cada pareja de buzos trabaja como en los transectos largos, marcando el inicio y el final de cada cinta en tramos de 10 m en cada uno de los 3 transectos de 50 m en paralelo (figura 16-2B). Cada tramo está registrado por su posición en la cinta métrica y por su orientación (ej. 0-10 m, 20-30 m, 40-50 m x lado costero, mitad o aguas abiertas).

La toma de datos sobre las comunidades coralinas

Para el monitoreo de comunidades coralinas es importante que el buzo o los equipos de monitoreo estén familiarizados con la metodología de muestreo y con los aspectos básicos de la biología y taxonomía de los corales (ej. tamaño, forma e identificación de género, en lo posible, a nivel de especies).

Estos conocimientos permiten que el buzo (o equipo de monitoreo) esté capacitado para delimitar bordes de la colonias y tomar medidas sistemáticas y comparables entre buzos.

Una buena ayuda es el libro '*Corals and other radiates of Galapagos*' de Cleve Hickman (2008) y otra guía de especies de campo mantenidos por la FCD-Biomar.

Para delimitar los bordes es importante conocer qué constituye una colonia. Se deben averiguar su forma de crecimiento y los aspectos externos de la misma. En la mayoría de los casos, delimitar los bordes de una colonia puede ser fácil debido a la variabilidad externa de la forma y el tamaño de cada especie de coral, pero cuando se trata de dos colonias de la misma especie, la delimitación de las colonias puede tomar varios minutos aun cuando se está familiarizado con este procedimiento.

En consecuencia, el tiempo para el monitoreo puede variar bastante según la composición de las colonias. En general, 30 m de monitoreo (3 secciones de 10 m de largo en 50 m de longitud total) requiere de por lo menos 30 minutos en cada profundidad por cada pareja de buzos.

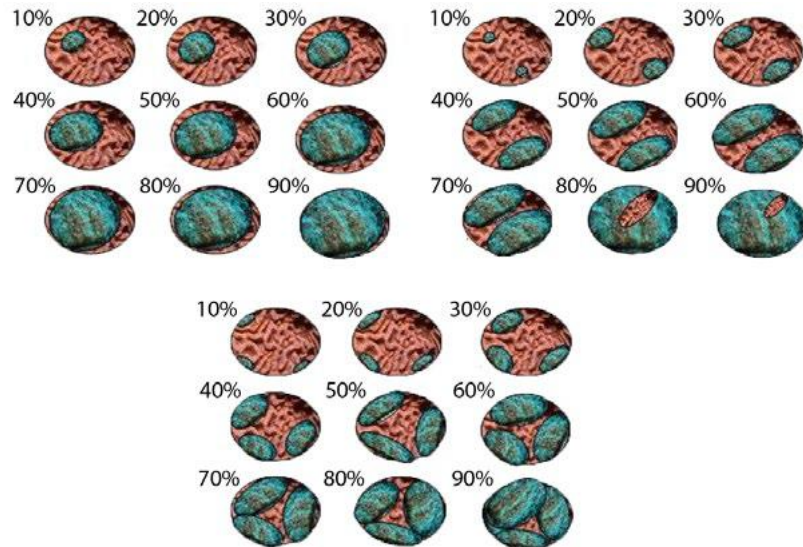


Coral Hermatipico, *Gardineroseris planulata*
(Imagen: J. C. Moncayo)



Coral hermatipico, *Porites lobata*
(Imagen: J. C. Moncayo)

Figura 14-3: Estimación del porcentaje de mortalidad en la superficie de un coral.



Coral hermatípico *Porties lobata*
(Imagen: A Chiriboga)

Lineamientos para establecer límites de una colonia

Una colonia es considerada autónoma cuando presenta un esqueleto o estructura individual. Se identifica basándose en la presencia de tejido vivo que define los bordes de la colonia y la presencia de coralitos claramente identificables.

1. El monitoreo y la evaluación de la colonia se deben realizar únicamente con colonias que aún se encuentran adheridas al sustrato. Las colonias rotas solo se evalúan si se encuentran nuevamente adheridas al sustrato o son fragmentos grandes que permanecerán en la misma posición a pesar de la influencia de las corrientes.
2. Se incluyen colonias que están 100% muertas solo si es posible identificar el género por la morfología de la colonia (ej. *Porites lobata*) o por la característica que presentan los coralitos (ej. *Pavona varians*).
3. Para identificar los bordes de la colonia es importante localizar la conexión o el esqueleto común, las conexiones de los tejidos vivos, la medida de los pólipos y el color de los mismos.
4. Se debe observar bien la colonia evaluada. Una colonia de *P. clavus* puede encerrar a otra de *P. gigantea* en el medio y aparentar ser una sola colonia a simple vista.
5. Si existen colonias que crecen sobre otras, se debe evaluar individualmente cada colonia.
6. Si la colonia está muerta parcialmente, es importante incluir la sección muerta de la colonia cuando se establezcan sus bordes.

Identificación del coral

Una vez que se han establecido los bordes de la colonia, es más fácil hacer una correcta identificación del género y de la especie del individuo evaluado, teniendo especial cuidado en la identificación del género ramificado *Pocillopora*. Para distinguir entre colonias de este género es recomendable basarse en las características de la colonia (forma, ancho, largo de las ramas, forma y talla de las verrugas, etc.), dando especial atención a la identificación de corales con apariencia similar.

Es importante que los observadores tengan buena experiencia y que sean competentes en la identificación de las diferentes especies de coral antes de llevar a cabo la evaluación.

Mediciones sobre la colonia

Después de la identificación de la colonia y de sus bordes, es importante evaluar la forma de crecimiento de la misma. Esto nos permitirá asegurar que las medidas que se toman están en el mismo eje de crecimiento en cada visita.

Se mide con ayuda de un segmento de 1 m de tubo de PVC, con marcas en centímetros, el diámetro máximo proyectado en forma perpendicular, considerando el ángulo de crecimiento desde los bordes de la colonia hasta el tubo de PVC, que el observador coloca sobre la colonia sin tocarla. En la medición se incluyen tanto las áreas vivas como muertas de la colonia (figura 14-3).

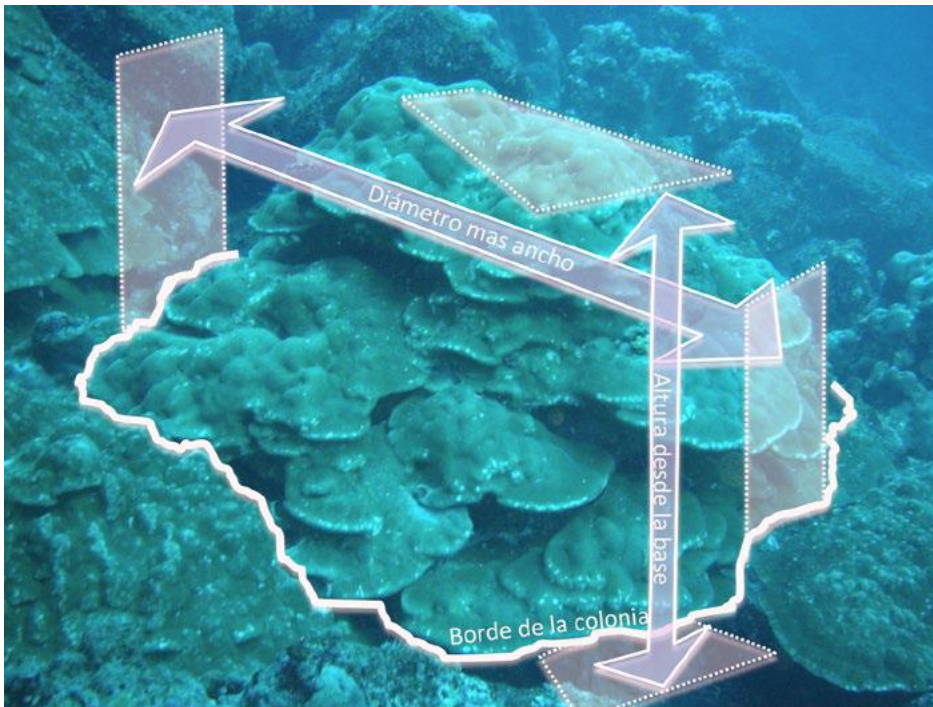


Figura 14-4: Mediciones típicas sobre una colonia masiva de coral. Medida del diámetro entre los puntos más alejados de la colonia y altura desde la cima hasta la base. Para corales incrustantes este puede ser no más de 0.5 cm o hasta 7-8 m en las colonias más grandes.

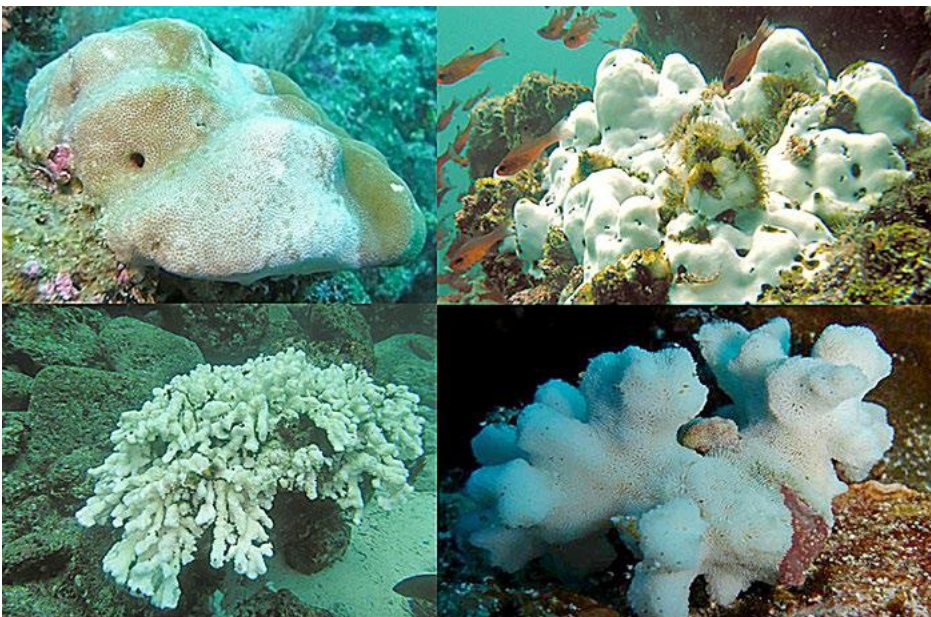


Figura 14-5: Ejemplos de blanqueamiento de los corales por choques extremos de agua cálida durante eventos fuertes de El Niño y por choques de agua fría durante eventos de La Niña.

(Imágenes: M.Vera y D.Ruiz)

Para medir la altura de la colonia también se usa el tubo de PVC, pero para ello es importante colocar el tubo de forma paralela al eje de crecimiento de la colonia, especialmente para los corales que crecen en ángulo respecto del fondo marino o en una superficie inclinada. La altura se mide desde el sustrato de la base de la colonia y no desde el sustrato del arrecife o fondo marino (figura 14-4).

Para una colonia que crece en la cima de otra, solo se debe medir el diámetro y la altura de la colonia que está siendo evaluada.

Para una colonia que ha sido quebrada y que es demasiado grande para moverla o que ha vuelto a sujetarse al sustrato y que aún no presenta una redirección en su crecimiento, se debe medir la colonia desde su eje original de crecimiento; pero si la colonia ha empezado a crecer en una nueva dirección, hay que asegurarse de medir el diámetro y la altura tomando como base el nuevo eje de crecimiento.

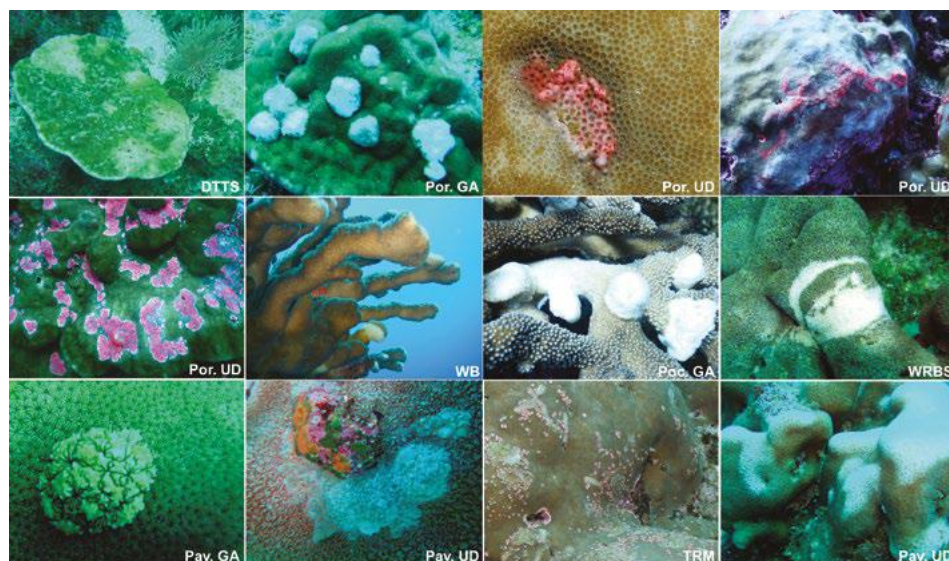
La diferencia más común que generalmente se encuentra entre los observadores es la estimación del porcentaje de mortalidad. Para minimizar el prejuicio se recomienda seguir las siguientes reglas:

1. Cuantificar el total de la mortalidad por estimación visual desde arriba como si fuese un mapa e ignorar todo el tejido presente a los lados, debajo o encima de la superficie del coral
2. El plan de observación es evaluado desde un ángulo paralelo al eje de crecimiento.
3. Estimaciones de mortalidad para todos los corales ramificados (*Pocillopora Sp.*), que generalmente están muertos desde la base de las ramas, deberían estar limitadas como parte periférica de la colonia.
4. La metodología AGRRRA hace una observación adicional de mortalidad parcial que incluye ambas mortalidades: reciente y antigua. La mortalidad reciente está definida como cualquier parte viva en la cual la estructura de los coralitos es blanca y aún permanece intacta o está cubierta por una fina capa de sedimento. Por el contrario, la mortalidad antigua está definida como cualquier parte del coral que no está viva en la cual la estructura no es visible o está cubierta por organismos que no son fácilmente removibles (ej. ciertas algas e invertebrados).
5. Corales que han sobrecrecido por esponjas incrustantes como la *Cliona*, pero cuya estructura de coralito aún puede ser identificada bajo la esponja, deben ser considerados de mortalidad antigua (esto se puede distinguir en *Porites lobata*).

Figura 14-6: Guía visual de las condiciones registradas, posiblemente presente en corales de Galápagos:

*DTTS-Síndrome de adelgazamiento del tejido decolorado,
 *TRM-Trematodiasis, Por.UD-Enfermedad no caracterizada (posiblemente *PR-Respuesta de Pigmentación), GA-Crecimiento anormal (en Pocillopora-Poc, Pavona-Pav o Porites-Por),
 *WB-Banda blanca, *WRBS-Banda, anillo o mancha blanca. (según Vera & Banks 2008).

* Algunas de las condiciones encontradas han sido vinculadas con algunas de las ya identificadas en otras localidades del Pacífico Oriental Tropical pero no están confirmadas para Galápagos.



Condición del Coral

El blanqueamiento representa uno de los síntomas más obvios de estrés en los corales y está causado por la expulsión de algas zooxantelas simbióticas de los pólipos del coral, normalmente por estar sujetos a temperaturas sostenidas altas o bajas. Una vez que las zooxantelas están en la columna de agua, pueden mantenerse en su estado planctónico y reintegrarse en los corales. Las zooxantelas se asocian por afinidad con ciertos géneros de corales. Sin embargo, si quedan expuestos en la columna de agua por más de dos semanas, debido a falta de sustento proporcionado por su simbionte, el coral suele deteriorarse y finalmente, morir.

En algunos casos, los corales pueden presentarse pálidos o parcialmente blanqueados (o con blanqueamiento remanente) debido a los efectos típicamente asociados con el coral debilitado (ej. sobrecrecimiento de algas, depredación, enfermedades, etc.) y estar aún en proceso de recuperación. Cuando apenas se está blanqueado, el esqueleto parece casi luminoso bajo el agua (figura 14-5). En algunas ocasiones un género puede blanquearse totalmente, mientras que otros géneros y especies con mayor resistencia al calor o al frío se mantienen en una buena condición.

También es muy importante diferenciar entre un coral con mordidas de peces, tejido recobrándose de mordidas de peces y un tejido blanqueado.

Una condición que solo se ha registrado en el coral *Porites lobata* son lesiones que se caracterizan por manchas de color rosa brillante y tejido decolorado. Estas lesiones ocurren a menudo en formas y patrones irregulares dispersos en la superficie o márgenes de la colonia, y se presentan como respuesta a pérdida de tejido por mordidas de peces, sobre-crecimiento de algas y otros factores no determinados. Esta lesión que podría estar relacionada a una condición conocida como Respuesta de Pigmentación-PR, condición no confirmada para Galápagos.

Determinar la causa o causas potenciales de enfermedades es a veces muy difícil, sobre todo para estandarizar las evaluaciones de las colonias, por lo menos hasta que haya un consenso más común entre expertos en nomenclatura de enfermedades. Vera y Banks (2009) presentan ejemplos de las condiciones encontradas durante el 2006-2008 ya caracterizadas como base de referencia (figura 14-6). Es importante seguir documentado anomalías de las condiciones de tejido y fotografiar las colonias afectadas teniendo cuidado de no tocar demasiado la colonia con el riesgo de que propague una enfermedad a otras colonias.



Coral hermatípico, *Leptoseris scabra*
(Imagen: A. Chiriboga)



Coral ramificado, *Pocillopora eydouxi*
(Imagen: J. C. Moncayo)

Cangrejo *Trapezia ferruginea* en coral ramificado *Pocillopora* sp. (Imagen: G. Edgar)



Manejo de datos de corales

Debe documentarse correctamente la metadata de cada sitio (buzo, temperatura, hora, oleaje, etc.). Los datos que se toman sobre cada colonia que cruza los transectos de intersección y en parcelas fijas son:

1. Especies de cada colonia.
2. Ubicación: puntos de intersección con la cinta métrica para cada colonia.
3. Tamaño de la colonia: diámetro máximo y altura máxima.
4. Mortalidad reciente: porcentaje afectado de la colonia.
5. Mortalidad antigua: porcentaje afectado de la colonia.
6. Palidez: decoloración del tejido, porcentaje afectado de la colonia.
7. Daño mecánico: causado principalmente por el anclaje de barcos.
8. Enfermedad: determinar si la colonia se encuentra enferma o no.
9. Blanqueamiento: porcentaje afectado de la colonia.
- 10 Sedimentación: anotar si la colonia está cubierta de sedimentos.
11. Crecimiento de algas: determinar si existe sobrecrecimiento de algas y de qué tipo, tratando de determinar, por lo menos, el grupo funcional.
12. Predadores: registrar la presencia de organismos predadores como la estrella corona de espinas.
13. Presencia de bioerosionadores (poliquetos, moluscos, erizos de mar, etc.).
14. Presencia de peces territoriales / crípticos y otros macroinvertebrados.
15. Observaciones adicionales.

Todos los tipos de recolección de datos tienen un formulario establecido para la hoja del campo (figura 14-7) y desde el 2007 están ingresados con un formato estandarizado de Excel.

Figura 14-7: Ejemplo de una hoja de datos tomado por una pareja de buzos que realiza mediciones de corales por transectos de intersección.

Pasado

1. Trematodiasis 3. Banda Blanca 5. Mordida de Peces
2. Mancha Blanca 4. Banda Negra 6. Banda Amarilla

PLOT A=C-10		Sheet ID		FIXED PLOTS (ADAPTED AGRRA) CORALS																	
B=20-30 C=40-50		Site: Woolf Corales 1		Date: 08/05/13	Diver: IK/PT		Current: —		Visibility: 15												
Zone: Woolf		Time: 09:00		Depth: 15m		Surge: —		Temperature: 24													
Species	Diam. Φ	Height ↓	Thick ↔	Old Mort. %	Recent Mort. %	Mech. Damage	Disease	Blanch %	Sedim.	Algae Cover	Predat.	Bio-Erosion				Terror fishes	Observations (species details)				
												Poliers	Molluscs	Urines	Others						
90-290	Porlob	2.25	.90	.30	70	—	2.5	—	—	20	20	—	—	—	—	—	—	RA	P. U. U. U. U.		
140-275	Porlob	1.75	.83	—	40	—	1.25	—	—	20	30	—	—	—	—	—	—	—	1.4. B. B. B. B. B.		
240-4	Porlob	1.00	.50	.20	70	10	—	1.25	—	30	30	—	—	—	—	—	—	—	1.1. B. B. B. B. B.		
470-440	Porlob	.55	.13	.30	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
410-470	Porlob	.25	.25	—	10	10	—	2	—	10	50	10	—	—	—	—	—	—	P. U. U. U. U.		
570-610	Porlob	1.70	.65	—	15	70	—	2	—	30	10	—	—	—	—	—	—	—	—		
630-640	Porlob	1.45	.85	—	50	15	—	5.7	—	30	15	—	—	—	—	—	—	—	—		
697-720	Porlob	1.45	.79	—	10	10	—	5.7	—	30	15	—	—	—	—	—	—	—	—		
770-8	Porlob	.75	.75	—	—	10	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
820-870	Porlob	1.80	.47	—	20	30	—	2.5	—	10	20	10	—	—	—	—	—	—	—		
857-870	Porlob	.95	.75	—	5	10	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
870-950	Porlob	.65	.47	.10	—	5	—	2.5	—	15	10	—	—	—	—	—	—	—	—		
890-900	Porlob	2.05	.45	.30	10	10	—	1.75	—	5	20	—	—	—	—	—	—	—	—		
90-110	Porlob	1.10	.55	—	10	30	—	2	—	40	20	—	—	—	—	—	—	—	—		
90-430	Porlob	1.25	1.05	.20	5	10	—	1.25	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—		
130-6	Porlob	1.40	.65	.25	5	10	—	1.25	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—		
160-670	Porlob	.20	.09	.15	—	—	—	5	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—		
270-910	Porlob	2.25	1.15	.25	10	5	—	1.25	—	20	40	—	—	—	—	—	—	—	—		
370-1070	Porlob	1.75	.75	.40	50	20	—	7	—	30	10	—	—	—	—	—	—	—	—		
40-120	Porlob	1.10	.25	.20	15	5	—	1.5	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—		
40-130	Porlob	.75	.75	.10	20	10	—	1.5	—	—	40	20	—	—	—	—	—	—	—		
40-1600	Porlob	1.60	.10	—	50	10	—	2	—	20	10	—	—	—	—	—	—	—	—		



Arco de Darwin (Imagen: W. Sweet)

MUESTREO OCEANOGRÁFICO

15

El océano, por sus propiedades de absorción y captación del calor y del carbono atmosférico, actúa como regulador climático global y posee la capacidad de modificar climas costeros. Las islas oceánicas, como el archipiélago de Galápagos, se encuentran particularmente bajo esta influencia marina, que interactúa con la geología del sitio generando características únicas en el clima y la biodiversidad. En la Reserva Marina de Galápagos, la convergencia de cuatro corrientes oceánicas posiciona a las islas del archipiélago bajo distintos regímenes oceánicos: una zona combinada en las islas del centro-sur; una zona cálida en las islas del norte; y una zona fría al oeste de las islas Isabela y Fernandina, donde se encuentra la mayor área de afloramiento de la subcorriente ecuatorial. Esta subcorriente también “alimenta” el resto del archipiélago mediante una serie de ramales y bolsillos de afloramientos en las costas de otras islas como Santa Cruz, San Cristóbal, Santiago y Floreana (Schaeffer et al., 2008), definiendo hábitats contrastantes, con una producción primaria abundante aunque efímera y, en consecuencia, de alta variabilidad espacial y temporal en el sistema bioquímico.

A pesar de la reconocida importancia de la investigación oceánica para Galápagos, el interés de los estudios holísticos sobre la física y química marina ha sido fluctuante, movido en gran parte por impactos puntuales como eventos de El Niño fuertes (1982-1983 y 1997-1998) y en años recientes por las alertas de tsunami. En el primer caso, por su ubicación en la zona de generación de El Niño - Oscilación del Sur (ENOS), la RMG se ha visto favorecida por los esfuerzos de investigación internacionales en el Océano Pacífico Ecuatorial, los cuales han permitido comprender a grandes rasgos la dinámica oceánica que domina sus aguas. Sin embargo, además de las caracterizaciones físico-químicas de la zona ecuatorial (Wyrтки 1981, 1985a, 1985b, Yu and McPhaden 1999, Kessler 2006) y de reportes técnicos del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), pocas investigaciones de carácter científico se han enfocado a fondo en la oceanografía de Galápagos (Houvenaghel 1978, 1984, Steger et al. 1998, Sweet et al. 2007), por lo que se carece de información sobre la dinámica a fina escala.

En gran parte, debido a la tradición ecológica de la investigación en Galápagos, las instituciones locales con presencia histórica en las islas, como la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) y la Fundación Charles Darwin (FCD), se han



Instrumento Conductividad - Temperatura - Profundidad (CTD, por sus siglas en inglés) con jaula de protección para perfiles verticales e instalaciones fijas. (Imagen: B.Schaeffer)

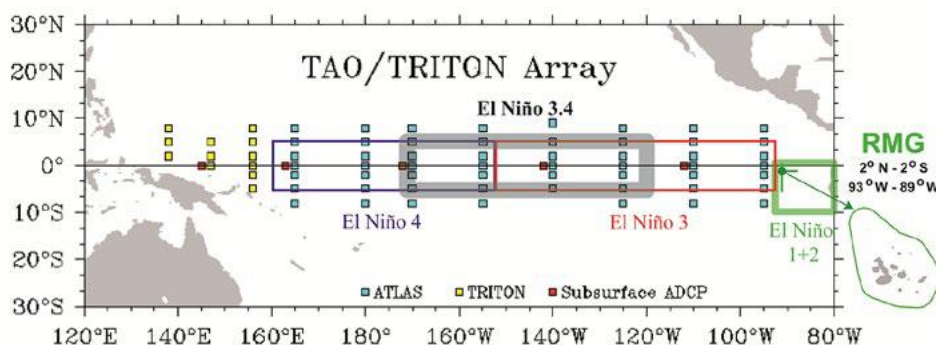
concentrado en el monitoreo de especies marinas icónicas o de interés comercial y, durante la última década, en la caracterización de hábitats e interacciones entre poblaciones bióticas marinas (Tapia et al. 2009).

Estos estudios han generado un invaluable respaldo de información que permite identificar áreas prioritarias en donde la interacción de la biota marina y las condiciones oceánicas físicas y geoquímicas requieren ser estudiadas en detalle; áreas donde los intereses de investigación, conservación y actividades humanas se conjugan intrínsecamente. Hasta hace pocos años, los centros de investigación nacionales como el Instituto Nacional de Oceanografía de la Armada (INOCAR) y el Instituto Nacional de Pesca (INP) se habían mantenido alejados de la realidad insular debido a su ausencia física del archipiélago, y a nudos críticos en el flujo de información entre actores de la ciencia y de conservación en las islas. Esto generó una desconexión entre los recursos de investigación disponibles en Galápagos y las iniciativas lideradas por dichas instituciones, repercutiendo en la subutilización de recursos técnicos y en los resultados. Con la apertura del Centro de Investigaciones Marinas de Galápagos en el 2006 – adjunto a INOCAR – nació la oportunidad de vincular la experiencia de investigación biológica y ecológica de las instituciones locales con las capacidades técnicas en las áreas de física, química y geología de esta institución. En este contexto, este capítulo contiene un recuento de la información oceanográfica actualmente disponible en la RMG, de los métodos e instrumentación utilizados, y recomendaciones para la continuidad y expansión de la red mínima de observaciones oceanográficas.

Galápagos y la red regional de observación de los océanos

La era satelital de observación del océano se ha traducido en un renovado impulso hacia la oceanografía, permitiendo contemplar la escala real de los fenómenos de interés y resaltando la necesidad de iniciativas de investigación a escala regional y global. Los satélites o sensores remotos han recabado amplia información histórica sobre las condiciones oceánicas en Galápagos y en otras áreas del Pacífico mediante variables como la temperatura superficial del mar, la clorofila superficial, la elevación del mar y los vientos. Sin embargo, el uso más eficiente de esta tecnología requiere de mediciones *in situ* complementarias, para validar y afinar la información a pequeña escala. La información *in situ*, además, ayuda a comprender los procesos que ocurren dentro de la columna de agua, los cuales se encuentran fuera del rango visual de los sensores remotos. En este contexto, y dado el gran interés internacional centrado en el Pacífico Ecuatorial como zona de generación de ENOS, a mediados de los años 80 nació el arreglo de boyas oceanográficas y meteorológicas TAO – TRITON, que se extiende entre 135°E - 95°O y 10°N - 10°S (figura 15-1). En conjunto con la información satelital del área, el arreglo TAO - TRITON contribuye al pronóstico de

Figura 15-1: Localización del arreglo instrumental oceanográfico TAO - TRITON (fuente: <http://www.pmel.noaa.gov/tao>), y delimitación aproximada de regiones de análisis de El Niño.



ENOS con información sobre la profundidad de la termoclina, corrientes superficiales y sub-superficiales. Los índices y pronósticos resultantes son difundidos a escala internacional por la Agencia Nacional de Océanos y Atmósfera de EE.UU (NOAA), tomando como principal referencia el área del Pacífico Central, conocida como las regiones El Niño 3 y El Niño 3.4.

Dichos índices y pronósticos son utilizados por la mayoría de países de la costa del Pacífico Oriental, incluyendo Ecuador. Sin embargo, la resolución, precisión y disponibilidad a tiempo real de estos datos oceánicos pueden no traducir fielmente todas las particularidades del sistema oceánico a escala local, entre otras cosas, porque el área de la Reserva Marina de Galápagos se encuentra directamente al margen tanto de la zona de interés para la elaboración de los índices, como del arreglo instrumental *in situ*. Esto puede limitar la capacidad de encontrar correlaciones claras entre los patrones climáticos y el comportamiento de la biota y, por ello, la recolección de datos *in situ* en el archipiélago es imprescindible para esclarecer la imagen de su ambiente marino y potencialmente generar conocimiento predictivo que permita cumplir con los objetivos de conservación y manejo ambiental de Galápagos.

Por otra parte, la posición de la RMG en la convergencia de las corrientes oceánicas responsables de la variabilidad estacional en el Ecuador y en otros países del Pacífico Sur-Oriental, y en el tránsito de ondas internas concernientes a ENOS, la convierten en una plataforma estratégica para el monitoreo de la variabilidad y tendencias climáticas (figura 15-2). Consolidar a Galápagos como un sistema de observación oceánica ayudaría a responder a la creciente demanda de información climática para dar respuesta a preocupaciones sociales en temas de gestión de riesgo como el cambio climático, tsunamis, lluvias y agujajes. Para ello es necesario transformar las actuales plataformas de toma de datos en elementos de un sistema más amplio y sostenido que respalde directamente las necesidades de investigación nacionales y regionales, y se expanda hacia aplicaciones de interés público. Ejemplos internacionales demuestran que es posible una transición exitosa desde la investigación hacia un desarrollo formal de operaciones continuas (Hall et al., 2010). Para su sostenibilidad, los proyectos y programas requieren tener un carácter adaptativo que les permita enfrentar retos institucionales, económicos y políticos en el largo plazo. Se debe reconocer, además, que la comunidad científica y sus bases de financiamiento no pueden cumplir con estos objetivos por sí solos, y por lo tanto se requiere de recursos adicionales significativos por parte de los gobiernos nacionales potencialmente beneficiados y de organizaciones intergubernamentales (OceanObs'09, Declaración de Venecia 2009).

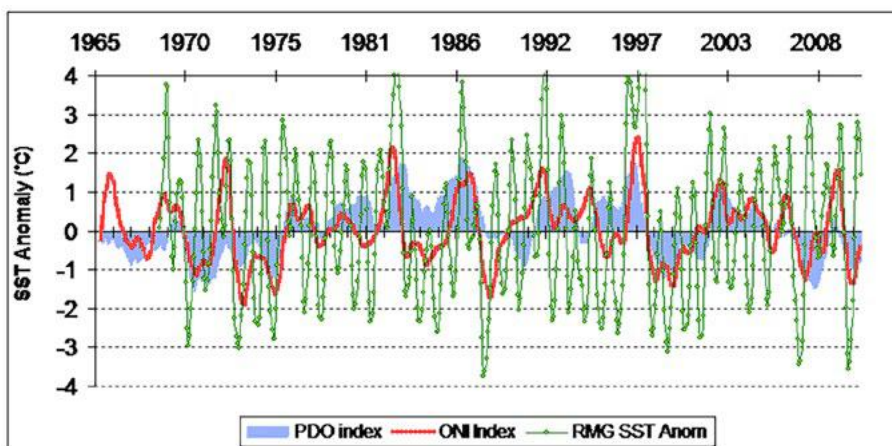


Figura 15-2: Series de tiempo de los índices de Oscilación Decadal del Pacífico (PDO); El Niño - Oscilación del Sur (ONI); y anomalías de temperatura superficial del mar en la estación meteorológica de la ECCD, Isla Santa Cruz FCD.

Uno de los mayores retos es comprender la naturaleza interdisciplinaria de un sistema de observación, puesto que el océano es un conjunto complejo y altamente conectado en todas las escalas y disciplinas científicas. En general, los sistemas de observación independientes han evolucionado para cubrir las necesidades de disciplinas y usuarios finales específicos. Internacionalmente, la observación se ha concentrado en la física oceánica y atmosférica, mientras que en Galápagos la biología y la ecología son ciencias tradicionales y el foco de atención de los programas de conservación. Los resultados de dichos programas deben consolidarse como la base para describir e identificar las áreas y procesos oceánicos prioritarios para los ecosistemas de la RMG. A diferencia de otros lugares, los objetivos en Galápagos deben dirigirse a coordinar la integración del monitoreo de variables ambientales físicas, químicas y geológicas, de modo que se asegure la continuidad histórica de los datos y se posibilite la comprensión de la dinámica local y el sistema regional en conjunto. Dos objetivos específicos claves de una base de observaciones oceánicas integradas son el desarrollo de índices ENOS locales y la determinación de umbrales de riesgo que causen perturbaciones en el ecosistema. Además, el sistema de observación debe construirse sobre principios de libre intercambio de datos y productos de información, trabajo multidisciplinario e interinstitucional, y difusión de resultados a la comunidad científica y a los usuarios. Finalmente, es necesaria la implementación de mecanismos robustos para recibir y aplicar retroalimentación por parte de los usuarios de la información, así como el desarrollo de productos de educación formal para asegurar que tanto los científicos oceanográficos como de otras disciplinas tengan una comprensión más amplia de las complejas interacciones del océano con otras ramas de la ciencia y de su gran influencia en asuntos de importancia social. Algunos principios importantes del sistema serán el libre intercambio de datos y productos de información, un enfoque en índices ENOS locales (no solo regionales) y los rangos límites que causan perturbaciones, y el desarrollo de mecanismos robustos para recibir y aplicar la retroalimentación de los usuarios.

Variables oceánicas esenciales

Temperatura del mar, salinidad y densidad

Esta es una variable clave para los pronósticos meteorológicos y de las condiciones oceánicas, así como para el estudio de la variabilidad océano-atmosférica y la comprensión y pronósticos de eventos ENOS. Determina además los rangos de distribución y cambios fisiológicos y de comportamiento de distintas especies. Globalmente, los registros históricos de temperatura superficial del mar (TSM) son los más largos y pueden ser medidos por diferentes instrumentos. En la RMG, el registro más largo disponible corresponde a la Estación Científica Charles Darwin, registrado manualmente a diario, con un termómetro simple, desde 1965 hasta la fecha. Se cuenta además con datos satelitales de MODIS y AVHRR con una resolución de 9 km² hasta 1.1 km² y estudios de su variabilidad (Banks 1999) (figura 15-3). También es común el uso de productos de reanálisis, como el Atlas Mundial del Océano (WOA, por sus siglas en inglés) y el reanálisis de Reynolds, los cuales combinan toda la información disponible, *in situ* y satelital, mediante técnicas de interpolación óptima, para extender la cobertura espacial y temporal de los datos.

Localmente, varios cruceros oceanográficos han registrado la temperatura del mar en fechas específicas, incluidos los perfiles realizados por cruceros regionales del B.I. ORION - INOCAR. Adicionalmente, se cuenta con una red de sensores de temperatura (HOBOS) ubicados en distintos puntos del archipiélago a 10 y 20 m de profundidad, permitiendo el estudio específico de la variabilidad intraestacional y su correlación con la biota en sitios clave de la RMG.

Aunque el océano exhibe un menor rango de variabilidad temporal, la salinidad es sumamente importante para la caracterización de zonas intermareales y humedales. En estos ambientes, la salinidad puede cambiar drásticamente bajo

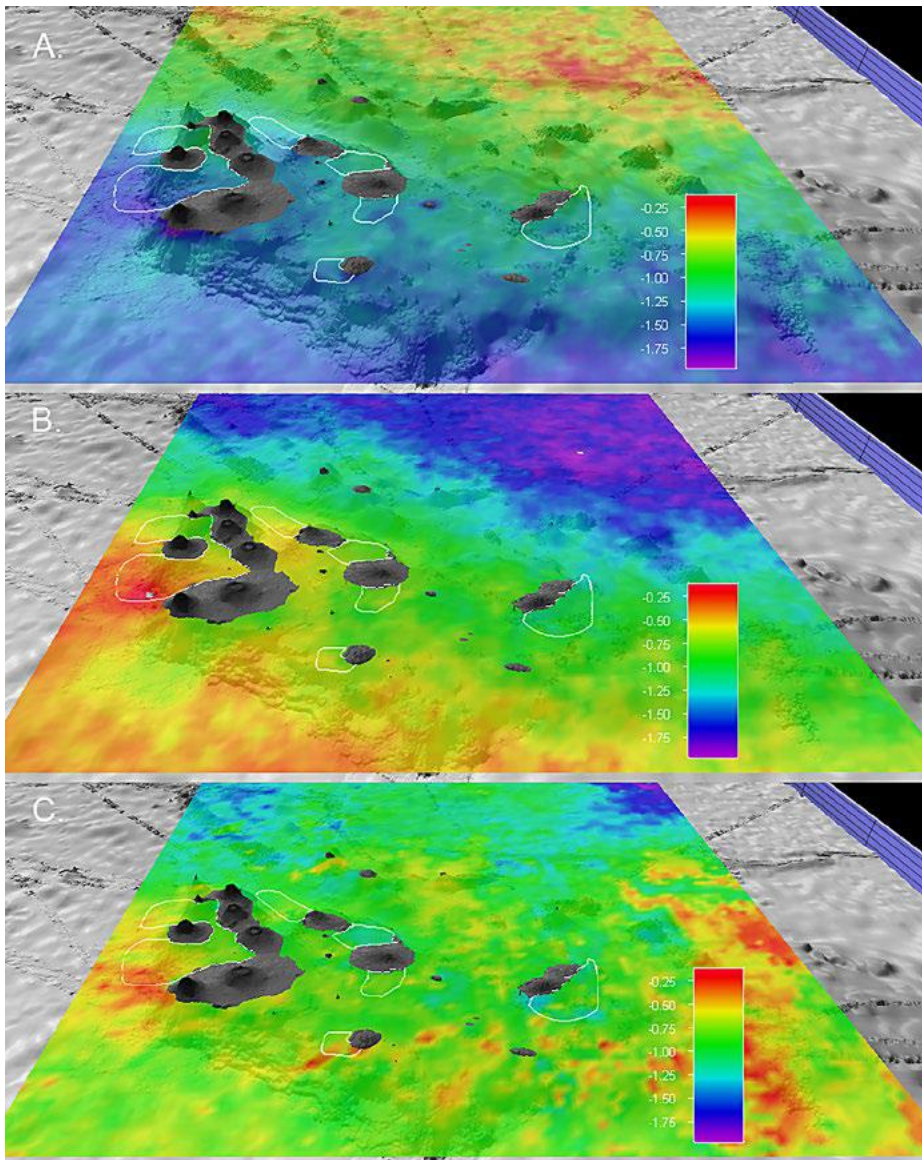


Figura 15-3: Superficies de clima marino de Galápagos (temperatura superficial del mar) (A: anomalías de agua fría; B: anomalías de la agua caliente; C: rango en anomalías medias) calculada a partir de 5 años de datos mensuales. Unidades en grados Celsius. Nos dan pistas útiles en cuanto de las diferencias a pequeña escala de temperatura para la futura rezonificación hacia APMs 'clima inteligente (*climate smart*)'. Blancos límites indican zonas de afloramiento constantes importante para la biodiversidad y la supervivencia de la mayoría de especies marinas y costeras. (Visualización realizado con Fledermaus software).

la influencia de lluvias o de la marea. En el ámbito oceanográfico, la salinidad es utilizada en conjunto con la temperatura y la profundidad (presión hidrostática) de la muestra para el cálculo de la densidad del agua salada y la caracterización de masas de agua. En la actualidad, la salinidad es calculada por instrumentos electrónicos (e.g., CTD, salinómetro) a partir de la medición de la conductividad eléctrica. La estandarización de estas mediciones convierte a la salinidad en una medida no-dimensional que se reporta en 'unidades prácticas de salinidad' (PSU, por sus siglas en inglés). El cálculo de la densidad puede ser realizado internamente por el CTD, o externamente mediante la ecuación de estado. Las diferencias de densidad y los gradientes horizontales de presión hidrostática, asociados con las mismas, determinan procesos oceánicos clave como el flujo geostrófico (corrientes), la estratificación del océano y la turbulencia.

Plancton

Son organismos usualmente menores de 2 cm y con poca o nula capacidad motriz horizontal, los cuales constituyen los eslabones base de la cadena trófica marina. Por ello, es necesario realizar análisis cuantitativos (productividad primaria, abundancia y cálculos de biomasa) y cualitativos (identificación de especies y dibujos de los organismos) del plancton. Dichos análisis proveen información relevante, por ejemplo, para conocer la disponibilidad y el valor nutricional del

alimento ingerido por peces y otros animales planctívoros. La abundancia de fitoplancton también tiene implicaciones sobre ciclos químicos del océano, como el ciclo del carbono, nitrógeno, fósforo y silicio, e impacta en la distribución espacial y vertical del oxígeno en las aguas y sedimentos de zonas someras.

Por lo tanto, el conocimiento de la abundancia, distribución y variabilidad del plancton fortalece la capacidad de los modelos tróficos para describir efectos directos de la variabilidad climática sobre el ecosistema marino-costero de Galápagos y la definición de umbrales de riesgo del ecosistema. Se cuenta con información de caracterizaciones de plancton de Galápagos desde 1980 a 1990 por publicaciones de INOCAR, sin embargo la información en crudo es de acceso limitado. Los monitoreos ecológicos de NASA - FCD entre 2005 y 2007, produjeron mapeos de grupos funcionales de zooplancton (animales) y catálogos de especies de fitoplancton (vegetales) en las islas, y adicionalmente se han recolectado muestras durante los monitoreos ecológicos anuales de la FCD alrededor del archipiélago. Se cuenta, además, con un banco de muestras colectadas semanalmente por la DPNG en Santa Cruz. Sin embargo, el análisis de estas muestras requiere de una inversión significativa y de tiempo y capacidad técnica en la identificación de especies. La metodología aplicada para colecciones de plancton se encuentra descrita en la sección de 'Muestreos de plancton', dentro de este capítulo.

La clorofila-a es el principal pigmento del fitoplancton y, por lo tanto, una medida aproximada de su abundancia. La clorofila-a puede cuantificarse a partir de muestras *in situ* mediante métodos analíticos químicos y por fluorescencia.

La clorofila-a es el principal pigmento del fitoplancton y, por lo tanto, una medida aproximada de su abundancia. La clorofila-a puede cuantificarse a partir de muestras *in situ* mediante métodos analíticos químicos y por fluorescencia. Durante los monitoreos NASA - FCD, se instalaron CTDs en estaciones fijas en sitios clave de la RMG (Schaeffer et al., 2008), equipados con fluorímetros WETlabs para caracterizar la columna de agua hasta 100 m de profundidad. Los sensores de fluorescencia se basan en que la clorofila-a absorbe y reemite luz en determinados rangos del espectro visible. Así, el instrumento dispara un rayo de luz a la muestra de agua y mide la luz reemitida. Sin embargo, distintas especies de fitoplancton exhiben distintos rangos de tolerancia a la luz y poseen mecanismos para bloquear la absorción de luz cuando el nivel de iluminación excede su límite característico. Por ello, los valores de fluorescencia deben ser calibrados mediante la filtración de muestras de agua y extracción de clorofila por métodos químicos para su medición con espectrofotometría o cromatografía.

Además, desde 1997 existen mediciones de clorofila-a mediante sensores remotos. De manera similar a los métodos de fluorescencia, los sensores remotos utilizan algoritmos diseñados para calcular la concentración de clorofila-a a partir de la luz incidente y la luz absorbida y reemitida por el océano y sus componentes. La validación de la clorofila satelital con datos *in situ* es de especial importancia en áreas cercanas a la costa ya que los sedimentos y materia orgánica disueltos en el agua pueden interferir con las mediciones satelitales.

Nivel del mar y oleaje

Son directamente utilizados para la prevención de peligros en las actividades marinas de tráfico y recreación, alertas de oleaje y tsunamis. INOCAR, a través de personal de las Capitanías de Puerto, mantiene mareógrafos para el pronóstico de mareas en las islas San Cristóbal, Santa Cruz y Floreana. Puede encontrarse información histórica referencial para las islas Darwin e Isabela. La información de mareógrafos nacionales se une a una red internacional.

Durante eventos fuertes de ENSO, por ejemplo, se han registrado aumentos promedio de 20 cm en el nivel de mar. Los pocos ejemplos de tsunamis registrados demuestran diferentes magnitudes de penetración dentro de la franja costera, determinados por la batimetría del sitio y la exposición al frente de las olas. Durante el paso del conjunto de ondas tsunamigénicas en el 2011 (tsunami de Japón) se registraron amplitudes de onda de entre 50 cm hasta 2 m, con penetración de hasta 6 m en ciertas bahías expuestas (Lynett P et al., 2011; Kuhn y Koch, 2011).

Corrientes

Fueron caracterizadas inicialmente en las décadas de 1960 a 1980 para todo el Pacífico Tropical (Wyrтки 1966, 1981, 1985 b). Caracterizaciones actuales confirman la dinámica general de las corrientes ecuatoriales, sin embargo, son necesarios estudios a microescala sobre circulación costera para planes de contingencia para derrames de combustible, identificar sitios de importancia para asentamiento de larvas y predecir la distribución de posibles brotes de especies invasoras marinas. Desde el 2007, por lo menos dos grupos siguen trabajado en modelos de circulación incluyendo la FCD-NCSU, modelo de HyCoM (Hybridized Coordinate Model a 4 km² resolución espacial) (figura 15-4) y ROMS (Regional Ocean Modeling System) por el grupo de modelación de INOCAR basado en Guayaquil.

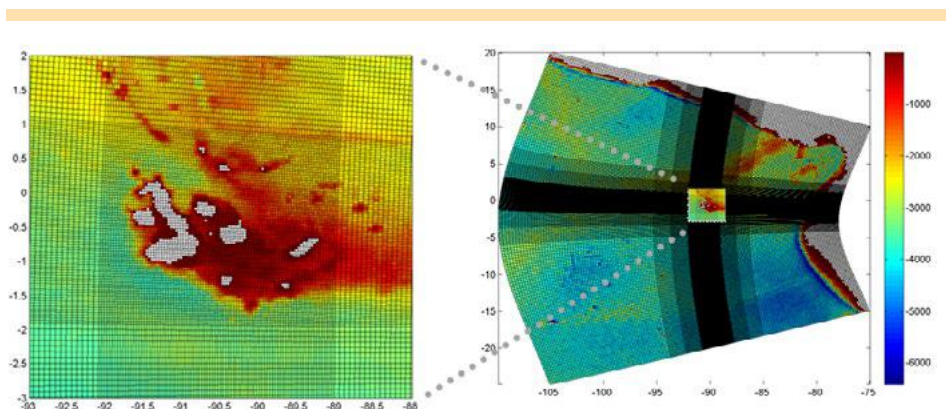


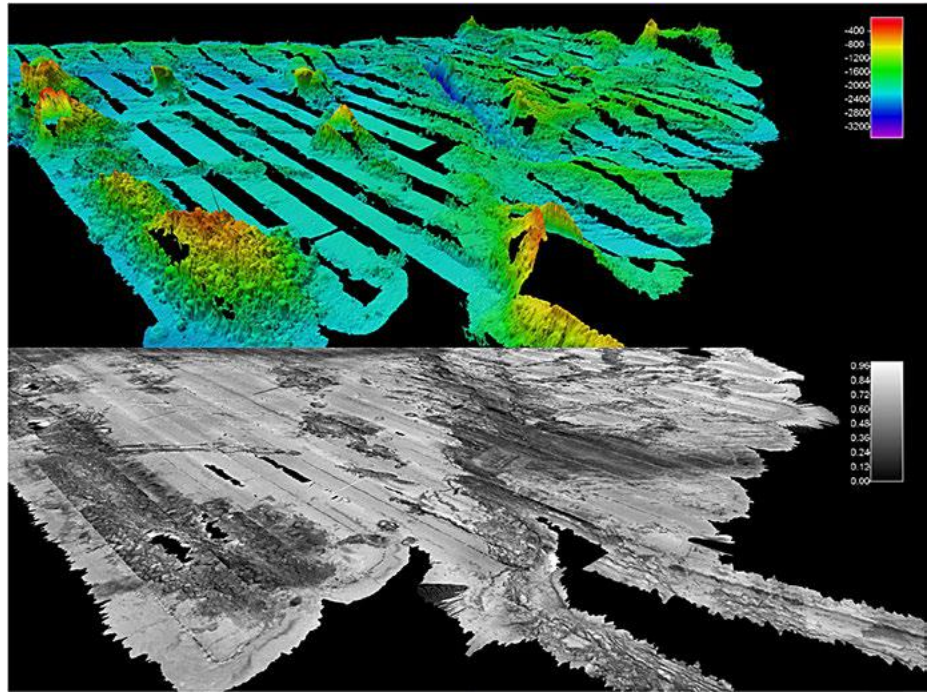
Figura 15-4: Desarrollo de modelos de circulación. Gracias al aumento del poder computacional y de datos satelitales, la resolución de los modelos del océano ha incrementado en los últimos años. Tomando como base modelos globales, es posible desarrollar modelos regionales con resolución espacial variable que hagan énfasis en zonas de interés como Galápagos (aquí la malla de modelación de HyCoM en desarrollo entre el 2009 y el 2014 por Lui et al. (NCSU, EE.UU)).

Existe un sistema global de boyas automáticas del programa ARGO –con algunos lanzamientos dentro del archipiélago – los cuales hacen perfiles verticales llevados por la corriente y boyas lanzadas por NOAA-Hazmat durante el derrame de M/V Jessica en el 2001. Desde el 2013 al 2016, el Proyecto ROGER (Woods Hole, Scripps, FCD-DPNG e INOCAR) obtendrá nuevos datos con el uso de vehículos autónomos preprogramados para seguir la dinámica de la subcorriente ecuatorial al oeste.

Batimetría y mapeo del fondo profundo de alta resolución

Mapas de alta resolución han sido generados para áreas de importancia biológica como el Canal Bolívar y el sur de Isabela, asociados con áreas de abundancia de pepino de mar y langosta roja espinosa. Contamos además con mapeos de batimetría y reflejo de sonar del fondo (*side-scan sonar*) del área norte de la RMG, generados en el 2010 en la embarcación RV Melville (figura 15-5) y un mapeo del campo electromagnético generado por depósitos de hierro en el plano abisal. La mayoría de esta información está subida en línea en el portal de GeoMapApp, para fines de investigación.

Figura 15-5: Mapeo de alta resolución del área noroeste de la RMG, con capas simultáneas de batimetría y sonar (*side-scan*) que caracterizan el sustrato profundo (crucero R/V Melville 2010).



Calidad del agua

Por el valor que tiene el agua para fines recreativos y de conservación, los parámetros de calidad del agua reúnen diversos análisis químicos y organolépticos de las aguas costeras, principalmente de las áreas cercanas a poblaciones humanas. La DPNG y la Cooperación Japonesa JICA realizaron monitoreos entre el 2005 y el 2007 en Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela. Los parámetros que requieren especial importancia son indicadores de eutrofización (nitratos, nitritos, fosfatos), coliformes, hipoxia y contaminación por metales pesados o hidrocarburos.

Figura 15-6: Preparación del equipo CTD dentro de una juala de acero inoxidable para su protección, con sensores ISUS para medición de nitratos y fluorímetro WetLabs (chl-a), en el laboratorio marino de la FCD.



Plataformas utilizadas para la toma de datos oceanográficos

Información Satelital

Los satélites o sensores remotos registran información sobre la radiación solar reflejada y reemitida por la superficie del océano en distintos rangos del espectro electromagnético, incluyendo el rango de luz visible y el rango infrarrojo. En palabras simples, los satélites miden el color y el calor de la superficie del océano y envían regularmente esta información a la tierra. Mediante la aplicación de algoritmos matemáticos, los datos satelitales son transformados a productos de información útiles como la temperatura superficial del mar (TSM) y la clorofila-a (chl-a).

En palabras simples, los satélites miden el color y el calor de la superficie del océano y envían regularmente esta información a la tierra.

Los satélites que proveen información global rotan alrededor de la tierra en una órbita polar, es decir, que en cada vuelta, el satélite pasa tanto por el polo norte como por el polo sur. Los satélites de investigación usualmente viajan a 700 km de altura, y durante su trayecto los sensores recopilan información en transectos de 2300 a 2800 km de ancho. Gracias a esto, millones de puntos de datos sobre Galápagos son remotamente colectados cada semana.

En el 2001 se instaló una Estación de Recepción Satelital Remota (*High Resolution Picture Transmission Station*) en el techo del laboratorio marino de la FCD. El

propósito de dicha estación fue la recolección directa de datos de alta resolución (1.1 km²) de los sensores NASA-SeaWiFS (*Sea Wide Angle of Viewing Field Sensor*, principalmente para datos de chl-a) y NOAA-AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*, para datos de TSM). La estación se mantuvo durante 4 años como parte de una red mundial de investigación del clima global. La misión del satélite SeaWiFS continuó con éxito hasta el 2010, cuando el satélite fue retirado de órbita. Previo a su retiro, se dio inicio la misión del nuevo sensor MODIS-Aqua (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) en el 2002. La operación simultánea de ambos satélites responde a la necesidad de un periodo de calibración para asegurar la compatibilidad de los datos. El sensor MODIS continúa en operación hasta el presente y la obtención de datos es posible de forma directa mediante nodos de descarga desde el satélite hasta bases de recepción en EE.UU y Europa.

Los datos de la NASA y la NOAA se encuentran disponibles en varios portales en línea, de acceso libre para usos de investigación y fines no comerciales. Uno de los protocolos estándar de solicitud de transferencia de archivos es llamado *Open-Source Project for a Network Data Access Protocol* (OPeNDAP). Este protocolo permite el acceso a productos satelitales almacenados en servidores remotos, como si se encontrasen en el computador local, permitiendo su uso mediante diversos programas de análisis de datos, así como la rápida visualización de información sobre sus contenidos y la extracción de subconjuntos de datos (fechas y/o áreas específicas). Existen otras plataformas visuales para la extracción de subconjuntos de datos, sin embargo, las mismas se encuentran sujetas a actualizaciones y cambios. Actualmente, los datos satelitales pueden ser descargados a través del servidor FTP (*File Transfer Protocol*) anónimo: <ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/>. En el 2004, el proyecto de SeaWiFS abrió un acceso regional directo para consultas diarias (*Near Real Time Product*) para las autoridades nacionales y la FCD; el cual se encuentra actualmente disponible como un servicio abierto a usuarios registrados con el Programa de NASA-Ocean Color.

Actualmente, los datos satelitales también pueden ser descargados a través del servidor FTP (*File Transfer Protocol*) anónimo: ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov.

El conjunto global de datos satelitales posee un altísimo volumen y requiere información detallada para su uso adecuado. Por ello, los archivos originales se encuentran usualmente comprimidos (*.gz) y en formatos que permiten el almacenamiento de metadata como HDF (*Hierarchical Data Format*, *.hdf) o Net-CDF (*Net Common Data File format*, *.nc). Los archivos contienen datos geoespaciales y pueden ser trabajados en programas especializados como NASA-SeaDAS o paquetes de programación gratuitos (Python, Ferret) o comerciales (MATLAB, IDL), los cuales permiten leer grandes cantidades de datos, así como realizar operaciones complejas, además de poseer herramientas de visualización gráfica.

Dadas las restricciones de conectividad al Internet en las islas, la FCD mantiene y actualiza con frecuencia un banco local de datos satelitales. En lo posible, estos datos se encuentran transformados a formatos más simples (por ejemplo, *.xls, *.csv, *.txt) para su análisis con las herramientas disponibles localmente.

En general, el uso de los datos originales es computacionalmente demandante y requiere tanto de recursos informáticos como de personal técnico y científico especializado para su uso eficiente y adecuado. Dadas las restricciones de conectividad al Internet en las islas, la FCD mantiene y actualiza con frecuencia un banco local de datos satelitales. En lo posible, estos datos se encuentran transformados a formatos más simples (por ejemplo, *.xls, *.csv, *.txt) para su análisis con las herramientas disponibles localmente. En el 2014, se realizó el lanzamiento inicial del primero de los nuevos satélites de la Agencia Espacial Europea (ESA - Sentinel), mediante el cual se ingresarán datos disponibles de sensores aún más avanzadas y con mayor resolución.

Cruceros oceanográficos anuales

Es una plataforma histórica y actualmente en uso, provista en gran parte por los cruceros regionales del B.I. Orión del INOCAR que se realizan anualmente entre septiembre y octubre. Debido a la ausencia física de INOCAR en el archipiélago antes del 2006, los resultados de dichos cruceros (resumidos en las Actas Oceanográficas de la institución) han sido hasta la fecha subutilizados localmente y algunos carecen de un contexto local adecuado para la información recopilada. Esta situación ha cambiado significativamente con la apertura de oficinas y laboratorios de INOCAR en las islas.

Entre el 2004 y el 2007, la FCD y la DPNG, con soporte de la NASA, realizaron una serie de 5 cruceros estacionales entre estaciones calientes y frías para recopilar información de línea base sobre el régimen de las masas de aguas con influencia en el archipiélago. Se caracterizó el ambiente productivo y los patrones de plancton y se recopiló un juego de datos hiperespectrales *in situ* para mejorar los algoritmos utilizados para calibrar los sensores remotos satelitales (figura 15-7).

Figura 15-7: Un instrumento *HyperSAS* montado en la proa del M/N Sierra Negra mientras se acerca a isla Wolf toma perfiles hiperespectrales de radiación E-M del agua. En modo de muestreo continuo durante cruceros, sirve para caracterizar grupos de fitoplancton por sensores parecidos montados en satélites.



Instalación de estaciones fijas

Se refiere a equipos instalados, ya sea en la superficie (boyas oceanográficas) o subsuperficialmente (equipos anclados), para el registro continuo de variables como la temperatura del mar y las corrientes. Estas instalaciones deben, en lo posible, hacer uso del vasto conocimiento sobre las áreas con hábitats claves en la RMG, y así responder a las necesidades de manejo ambiental de la reserva.

Se destaca la importancia de la zona de afloramientos al oeste de Isabela, la cual corresponde al área con mayor variabilidad temporal en términos de temperatura del mar y producción primaria (Banks 1999). La variabilidad interanual de este afloramiento está directamente relacionada con ENOS: durante los eventos de El Niño, la zona de afloramiento se reduce o desaparece por completo debido a cambios en los patrones físicos del océano. Es necesario estudiar con profundidad si la intensidad del afloramiento puede convertirse en un indicador local de la incidencia de eventos El Niño que se limitan al Pacífico Central, conocidos como El Niño Modoki (Ashok et al. 2007). Por ejemplo, aunque fuertes anomalías termales se registraron en los índices ENOS en el 2009, es posible que el afloramiento en Galápagos se haya mantenido, evitando mayores desequilibrios en el balance ecosistémico. Los datos de monitoreo ecológico submarino y otras fuentes de información aquí descritas pueden ser utilizadas como base para comprobar esta hipótesis.

Las islas del extremo norte, Darwin y Wolf, es otra de las áreas de importancia para la investigación y el manejo. Aquí el monitoreo se relaciona con hábitats de coral sensibles y agregaciones únicas de especies de tiburones; así como con la variabilidad meridional del frente ecuatorial. Tanto en sitios del oeste, como en las islas del norte se han colocado sensores simples de temperatura, que almacenan registros de temperatura a profundidades específicas por periodos de varios meses. Las características de estos sensores, así como la información sobre su instalación, se detalla en la sección de 'Métodos de colección de datos oceanográficos'. Los registros más antiguos empiezan en 1997 y provienen de sensores colocados en Punta Espinoza y Fernandina (en el oeste), y en el fondeadero de Wolf. Sin embargo, las series en estos sitios sufren de vacíos de datos por periodos de pocos días a varias semanas, provocados por sobrepasar el límite de la memoria del instrumento antes de su recambio. Una de las series más extensas corre desde 1999 hasta el presente, con sensores instalados por el científico dr. Jon Witman en 12 paredes verticales en la parte central de las islas (figura 15-8). Todos estos sitios constituyen una prioridad para el mantenimiento de series comparables en el tiempo.

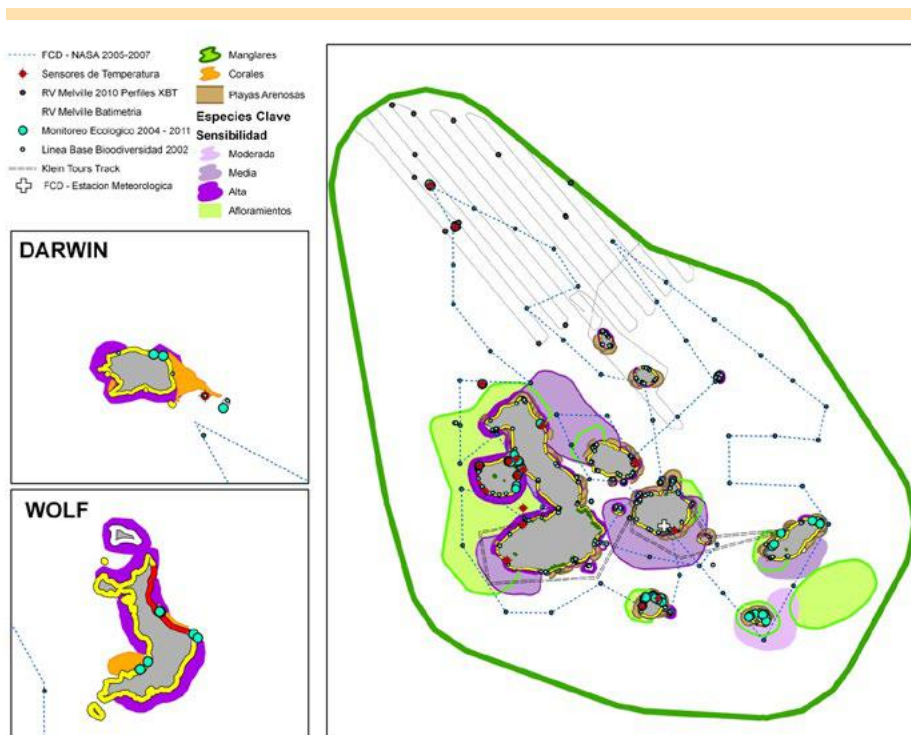
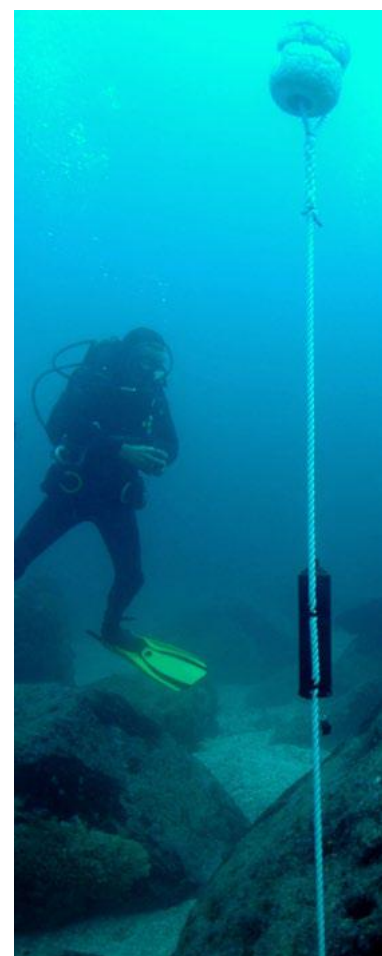


Figura 15-8: Cobertura de muestreo *in situ* 2005-2010. Estaciones de muestreo oceanográfico por cruceros estacionales por el proyecto DPNG-NASA-Glps Ocean (2005- 2007), el NSF B/I Melville en el 2010, e instalaciones fijas de instrumentos, sobrepuesto en un mapa de sensibilidad basado en distribuciones de vertebrados costeros.



(Imagen: A. Hearn)

Adicionalmente, el monitoreo de pingüinos y cormoranes mantuvo 10 estaciones con sensores en el oeste desde el 2004 al 2006 y, a partir del 2010, se restablecieron nuevos puntos cerca de las colonias más importantes. También se han instalado sensores de temperatura como parte de los estudios de tiburones en Wolf y Darwin y puntos de agregación de escuelas en la zona central.

Otras instalaciones de instrumentos se han mantenido temporalmente para complementar proyectos específicos. En los años 2004 a 2007, el proyecto de NASA-Ocean instaló 5 YSI-CTD Sondas (instrumentos que registran datos de clorofila, salinidad y temperatura) en boyas oceanográficas en 5 puntos de la RMG. Durante dicha experiencia se observó que el sobrecrecimiento de balanos y otros organismos bentónicos es particularmente rápido en el norte, por lo que es necesario hacer un mantenimiento cada 3 meses para evitar el daño y/o pérdida del equipo (figura 15-9). Además, los proyectos de INOCAR han mantenido mareógrafos y medidores de corrientes (ADCP, *Acoustic Doppler Current Profiler*) en varios sitios del archipiélago.

Figura 15-9: Preparación y recuperación de boyas oceanográficas submareales para limpieza y reprogramación de instrumentos. Una consideración para la flotabilidad requerida de las boyas submareales y longevidad de los sensores es el sobrecrecimiento de *Megabalanus Sp.*, particularmente en las islas norteañas.



Estaciones de Monitoreo Frecuente

Se trata de sitios de visita con frecuencia semanal, quincenal o mensual, en donde se realizan mediciones o muestreos. Esto se ha hecho previamente en sitios como Bahía Academia y Floreana, obteniendo perfiles de CTD y muestras de plancton. Sin embargo, aún no existe un sistema que asegure el análisis de datos y la entrega eficiente y oportuna de resultados. Otros puntos como Bahía Barahona y Quinta Playa se han consolidado como estaciones temporales de registro de temperatura del mar durante las temporadas de monitoreo de anidación de tortuga verde marina, proveyendo series cortas anuales durante la época cálida. En consideración a este tipo de plataformas, es importante balancear la innovación con la continuidad de la información. Es preferible mantener o reiniciar el monitoreo en un sitio previamente utilizado, a incorporar nuevos sitios cuya continuidad histórica es nula y/o incierta a futuro.

Viajes de Monitoreo Ecológico

Realizados desde el 2004 por la FCD como continuación de los viajes que generaron la Línea Base de la Biodiversidad y la actual biogeografía de la RMG. En el 2005 y 2006 se realizaron dos monitoreos por año, permitiendo la comparación entre estaciones climáticas. Desde el 2007 hasta la actualidad se cuenta con datos anuales de la estación cálida, entre marzo y junio. Durante los viajes de monitoreo se han realizado muestreos de plancton y fitoplancton y medición de perfiles de CTD en los sitios diagnósticos seleccionados para averiguar cambios en comunidades submareales. Los viajes de monitoreo ecológico son, además, una plataforma para el recambio de sensores simples de temperatura instalados mediante buceo autónomo.

Embarcaciones Voluntarias

Propuestas por sectores de turismo interesados en el desarrollo de la "ciencia ciudadana", permiten el involucramiento de visitantes en la toma de datos como la temperatura superficial del mar durante sus cruceros en la RMG. Actualmente, esta plataforma concede espacios para la participación de personal científico / técnico durante los cruceros, los cuales se utilizan de forma esporádica; sin embargo, un modelo ideal para esta plataforma debe trabajar directamente con capacitaciones al grupo de guías involucrados y en la simplificación de las variables monitoreadas y los métodos de registro, análisis y difusión.



Instalación de una boya oceanografica bajo la superficie con instrumentación CTD-FI (YSI Sonde). (Imagen: R. Pépolas)

Red de rastreo pelágico

Involucra la posibilidad de utilizar sensores de temperatura en los dispositivos de marcaje actualmente utilizados en proyectos de uso de hábitat y patrones migratorios de especies como el tiburón martillo, tiburón ballena, tortuga verde marina, bacalao, entre otros. Este tipo de integración entre investigadores de rastreo biológico y oceanógrafos físicos tiene gran auge contemporáneo, demostrando la factibilidad de acoplarlo al sistema de observación (Boehme et al. 2010). Animales con hábitos de buceo como lobos marinos, pingüinos o cormoranes permiten mediciones similares a perfiles de CTD en sitios muchas veces inaccesibles, aumentando considerablemente el conocimiento de la dinámica oceánica y acoplado la toma de datos directamente con comportamientos de individuos. Sin embargo, por la naturaleza de las diversas matrices de datos obtenidas, la integración de esta plataforma requiere de un desarrollo de metodologías de análisis de datos y capacitación adecuada.

Científicos colaboradores y visitantes

Una parte considerable del conocimiento oceanográfico sobre la RMG ha sido recabado gracias a investigadores internacionales y nacionales con financiamiento externo, quienes voluntariamente comparten sus resultados con la comunidad científica local. Un marco óptimo de trabajo debe facilitar la disponibilidad de dicha información y asegurar la correcta acreditación de sus fuentes, y así, consolidar la continuidad del conocimiento recopilado y evitar la duplicación de esfuerzos.

Además, cada año existen oportunidades para colaborar en los cruceros internacionales de investigación que visitan la RMG. En estos casos, se requiere de esfuerzos para perfeccionar los procesos de obtención de permisos de investigación. Aparte de los aportes a la ciencia mundial que realiza estudios en la Reserva, podemos ayudar a que los datos levantados estén aplicados dentro un contexto de ciencia para la conservación de las Isas y el fortalecimiento del conocimiento local.



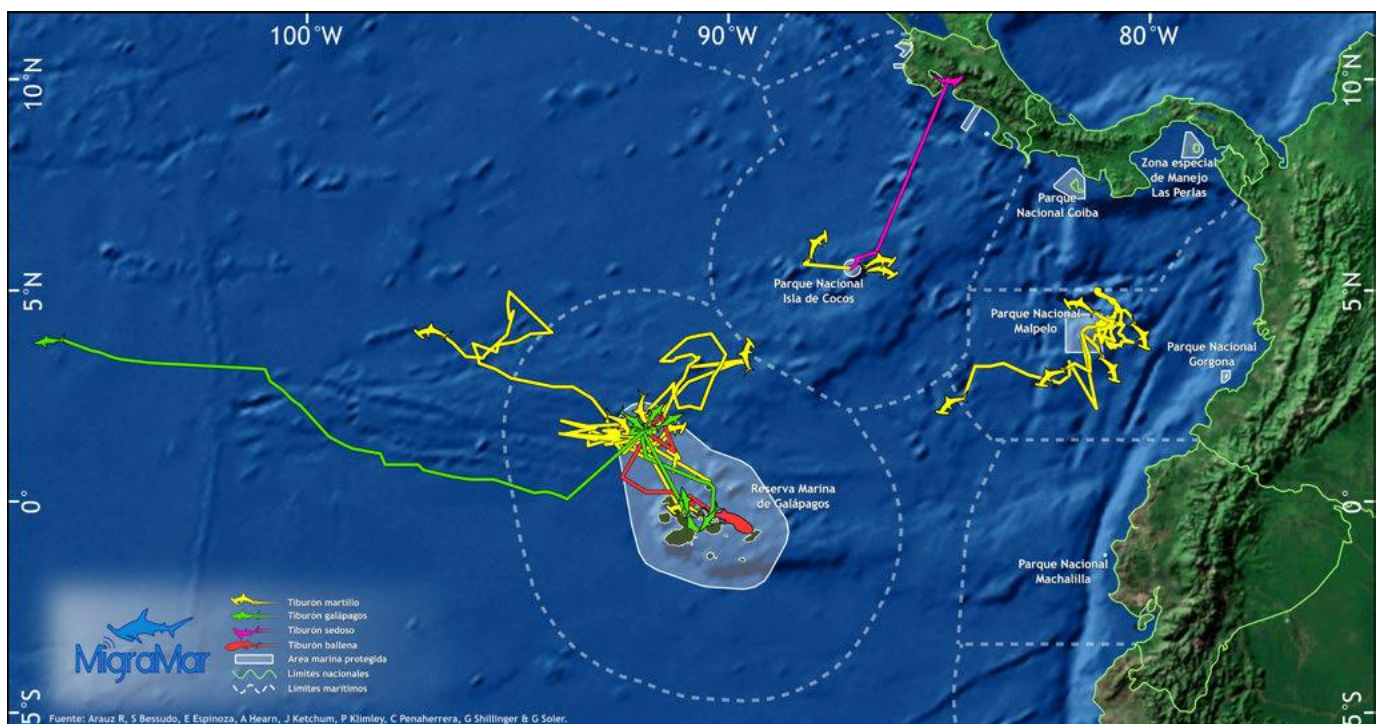
Tortuga *Chelonia mydas* y cardumen de Pámpanos acerado *Trachinotus stilbe*
(Imagen: M. Vera)



Tiburones martillo, *Sphyrna lewini*
(Imagen: A. Hearn)



Tiburón piloto, *Carcharhinus falciformis*
(Imagen: G. Soler)



El rastreo de especies pelágicas en la región ha sido realizado en coordinación científica de redes de socios como MigraMar (www.migramar.org).

(Imágenes: R. Gallardo)

Métodos de colección de los datos oceanográficos

Sensores de temperatura

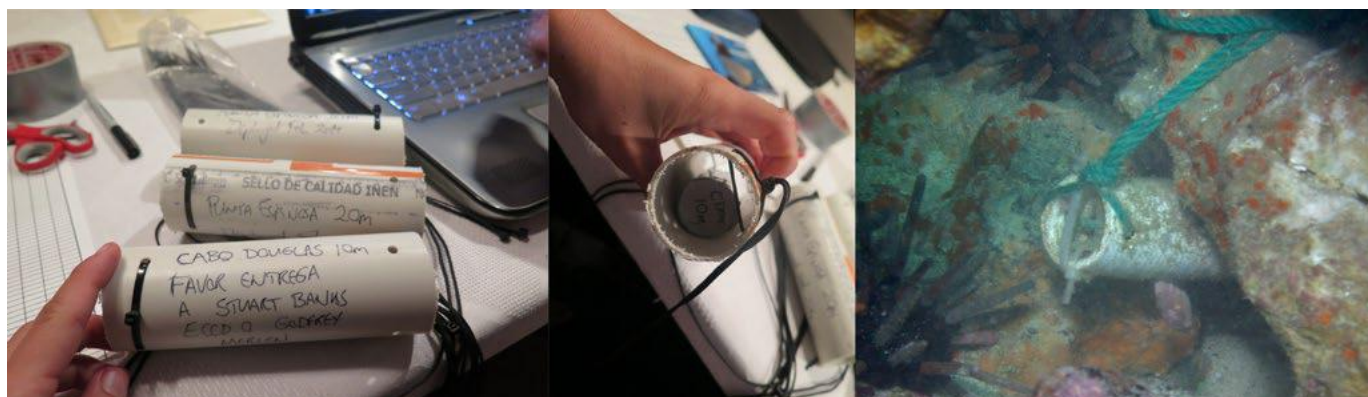
Desde 1997 se han utilizado sensores de temperatura de la compañía Onset® HOBO® data Loggers (<http://www.onsetcomp.com/>), los cuales constituyen una opción práctica y económica para instalaciones submarinas en la reserva. Estos sensores disminuyen considerablemente los riesgos económicos ocasionados por la pérdida de instrumentos costosos, ya sea por turbulencia, sedimentación, derrumbes, lobos marinos o buzos curiosos; requiriendo una inversión de aproximadamente USD 150 por sensor, en comparación con los más de USD 15 000 requeridos para un instrumento complejo. El diseño de sus productos cambia por años, pero básicamente son pequeñas unidades selladas desde la fábrica, con una vida útil de alrededor de 4 a 6 años. Permiten la programación específica de la frecuencia de medición (desde segundos hasta días), lo cual determina la cantidad de datos que podrán ser almacenados en la memoria del instrumento. La frecuencia de medición recomendada es de 1 registro cada 30 minutos, lo cual almacena 905 días utilizando los últimos modelos con 32K de memoria, y captura de forma adecuada la señal de variabilidad de alta frecuencia de la termoclina en cada sitio.

Estos sensores disminuyen considerablemente los riesgos económicos ocasionados por la pérdida de instrumentos costosos, ya sea por turbulencia, sedimentación, derrumbes, lobos marinos o buzos curiosos.

Para la instalación y uso de estos sensores, además, se requiere contar con el programa de configuración (HOBOWARE), instalado en el computador portátil que se lleve al campo, y con el dispositivo base con conexión USB para comunicar el instrumento con el computador y poder programarlo. También se debe realizar una prueba de cada sensor, previo a la salida de campo, para asegurar su funcionamiento adecuado.

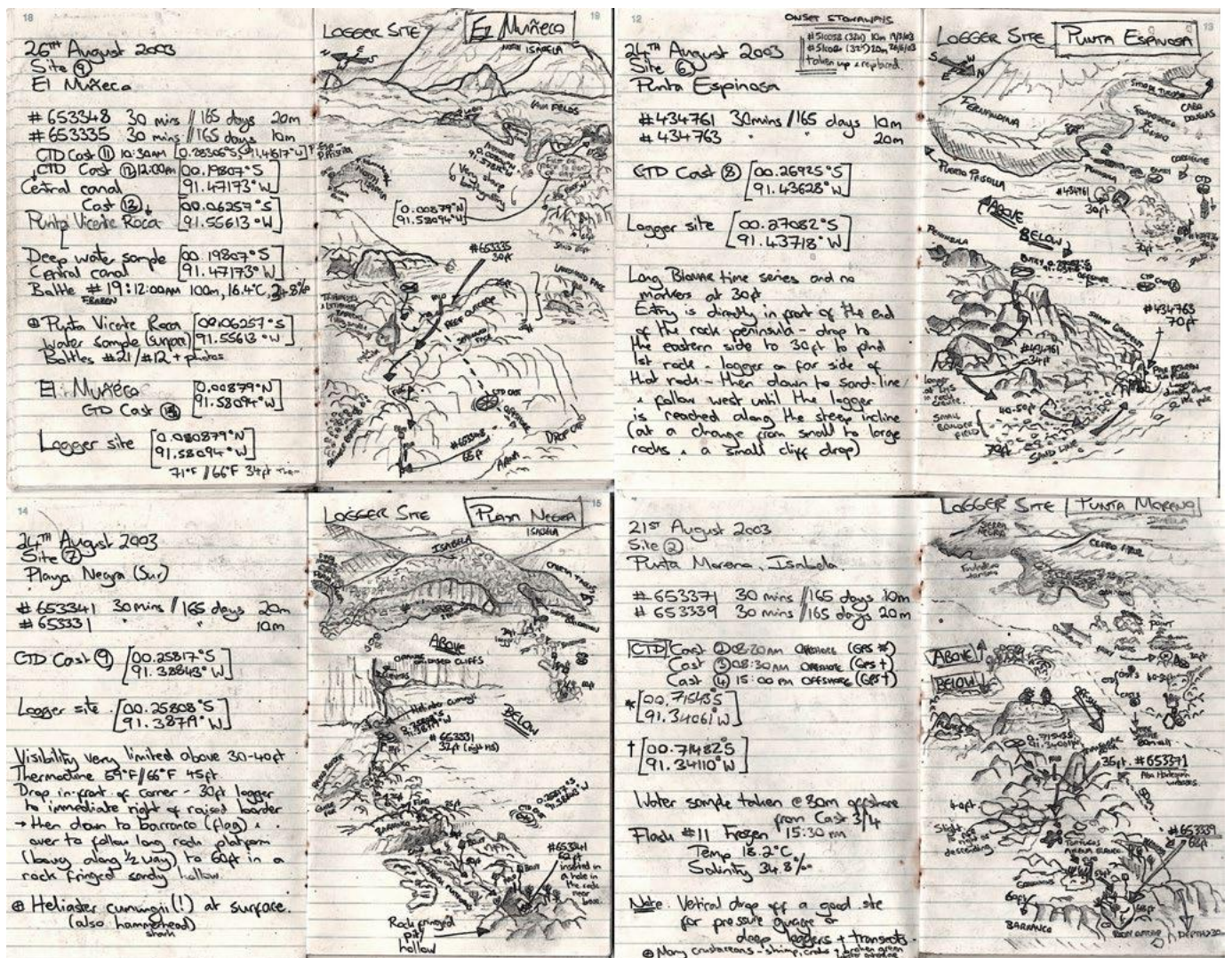
Además de la programación del instrumento antes de su instalación, se debe ingresar en una hoja 'log book' de Excel: la identificación (id) de la unidad, el intervalo entre mediciones, la fecha de programación, el sitio, la profundidad y la fecha y hora de inicio de las mediciones (puede ser posterior a la fecha de programación). Dicho formato en Excel se encuentra entre los materiales digitales para el monitoreo ecológico. Cada sensor se envuelve con cinta adhesiva extrafuerte ('cinta ploma' o 'duct tape'), sobre la cual se escribe con marcador permanente la profundidad de la instalación como referencia. El sensor se introduce en un tubo corto de PVC con agujeros para asegurarlo con bridas plásticas (*cable ties*) y sogas lo suficientemente largas para ser atadas bajo las rocas o en el sitio considerado oportuno (figura 15-10).

Figura 15-10: Programación, preparación y colocación de los loggers de temperatura. Normalmente se requiere pruebas en el laboratorio antes de una salida para asegurarse de que funcionan correctamente en el campo. Su tiempo instalado puede durar meses y hasta años. Así, es primordial que los intervalos de medición estén como se requiere y que estén activados (normalmente visible por medio de una LED).



La inmersión de instalación debe realizarse al menos por dos buzos que sean personal fijo del monitoreo para mantener la memoria de la ubicación del instrumento, utilizando puntos de referencia, la profundidad (tomando en cuenta el estado de la marea) y el rumbo de la brújula en caso de que la visibilidad sea limitada. En ausencia de una formación rocosa llamativa, es aconsejable instalar referencias como una varilla de acero o una boya pequeña que sirva de guía para encontrar el sitio exacto y/o confirmar que es la zona correcta. Se debe evitar dejar marcas visuales directamente en el sitio; esto reduce la posibilidad de pérdida de instrumentos causada por la curiosidad de otros visitantes al sitio. Se deben describir las indicaciones de cómo llegar al sitio con dibujos para cada profundidad (figura 15-11) e instrucciones en la hoja de registro de los sensores.

Figura 15-11: Un ejemplo de un mapa preparado como ayuda de memoria para reencontrar una estación fija submareal de temperatura instalado a 10 m y 20 m de profundidad en la costa de Isabela. Otros métodos incluyen uso de transpondedores que emitan señales al buzo o que marquen el sitio visiblemente bajo el agua. Sin embargo, el método más práctico para evitar pérdidas es en el que los instrumentos quedan escondidos pero su ubicación bien conocida por 2 o 3 buzos que conocen el área, tomando referencias fijas como formaciones de arrecife distintas y rumbos por profundidades desde un punto de inmersión de GPS. Esta forma constituye un reto, sin embargo, es posible encontrar los instrumentos, incluso en agua con mala visibilidad.






Perfiles de la columna de agua por el instrumento CTD

El CTD (conductividad, temperatura y profundidad) es uno de los instrumentos más útiles y versátiles para caracterizar el ambiente en un sitio. Frecuentemente, cuenta con un fluorímetro integrado para la medición de clorofila-a (chl-a). Son equipos sofisticados y costosos, por lo que se recomienda asignar a un responsable para su uso, manejo y cuidado. Requiere de un mantenimiento adecuado y una recalibración por la fábrica de cada 2 a 4 años.

Previo al envío del instrumento al exterior, ya sea para mantenimiento o calibración, deben considerarse complicaciones potenciales con la aduana y realizar los trámites pertinentes para prevenirlas.

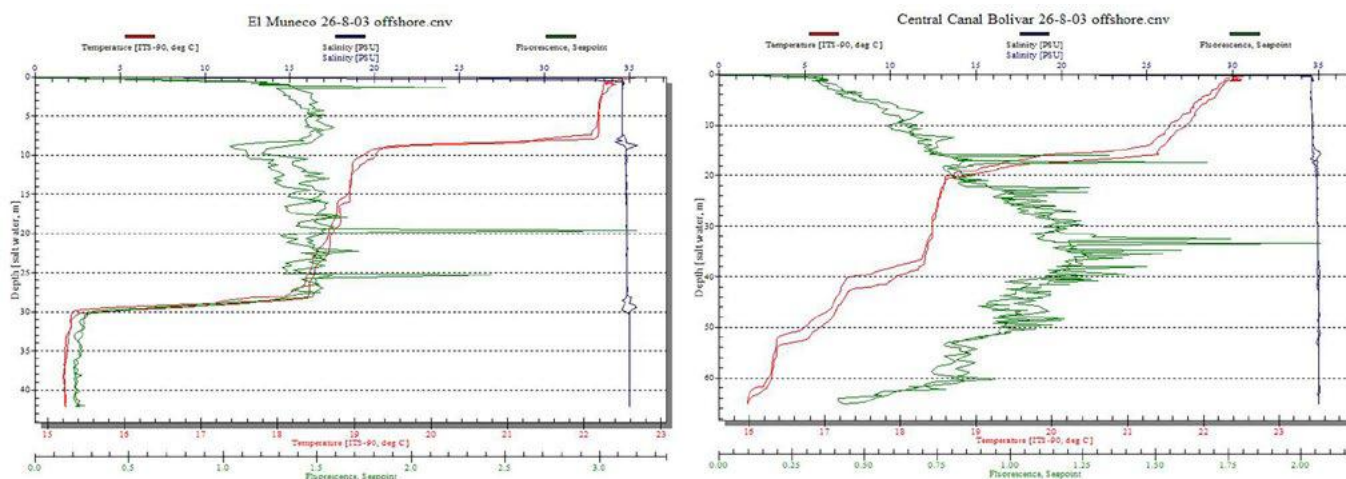
La unidad utilizada por la FCD (y donado a la DPNG en el 2010) es un CTD *SeaCat 19-Plus*, el cual cuenta con 7 módulos adicionales para instalar otros sensores. El uso más común del CTD es realizar perfiles verticales o 'casts' de la columna de agua (modo de perfil), sumergiendo el instrumento manualmente, o con el uso de un winche, en un sitio con una profundidad mínima de 15 a 30 m. En aguas muy someras es probable que la temperatura sea constante en toda la columna de agua por efecto directo de la radiación solar y el viento, y el uso de un termómetro u otro instrumento simple sea más conveniente. El CTD puede utilizarse conectado a la computadora durante la inmersión, utilizando los cables y conectores correspondientes, para la transmisión en tiempo real y almacenamiento directo de datos en una computadora; o puede programarse para almacenar datos tanto en modo de perfiles verticales, o como instrumento anclado o 'moored' (ver sección de 'Plataformas de toma de datos oceanográficos'). El instrumento se programa mediante un conector de interfaz RS-232C que se comunica con

Tabla 15-1: Especificaciones de los instrumentos oceanográficos utilizados de manera rutinaria en el monitoreo de la RMG.

	HOBO Water Temperature Pro v2 (U22-001)	Temperature TidbiT v2 (UTBI-001)	SeaBird SeaCat Profiler 19-Plus v2
			
Parámetros	Temperatura hasta 400 pies	Temperatura hasta 1000 pies	Temperatura, salinidad, presión (profundidad), densidad, fluorimetría (Chl-a) con opciones de O2 disuelto, pH, etc. por módulo (7 disponible).
Vida de batería	~ 6 años	~ 5 años	8 x baterías D; ~60 horas de operación.
Tiempo de respuesta en agua	5 min	5 min	0.25 segundos.
Memoria	32K; 42,000 medidas	32K; 42,000 medidas	8-16MB (y 100 perfiles).
Rango de intervalos	1 segundo a 18 horas	1 segundo a 18 horas	0.25 segundos y arriba.
Rango de lectura	-40° a 50°C	-20 Deg.C a 30 Deg.C	Varía con sensor.
Precisión	±0.21 °C	±0.2 °C	±0.005 °C,, 0.0005 PSU (salinidad).
Resolución	0.02°C @ 25°C	0.02°C @ 25°C	0.0001°C @ 25°C.
Usos	· Instalación en sitios costeros a 10 m y 20 m de profundidad en un tubo de PVC para su protección. Instalado bajo de rocas en sitios bien mapeados.	· Instalaciones en tratamientos experimentales y cadenas de termistores.	· Instalaciones extendidos en sitios (moored). · Perfiles verticales de la columna de agua hasta 100 m. · Transmisión de datos instantáneo (con cable a la superficie).

la terminal del programa SeaTermV2© para facilitar la configuración y el acceso a los datos grabados en el instrumento. Los datos obtenidos se guardan en formato hexadecimal, que puede transformarse a formato ASCII (*.txt) mediante los programas SeaSoft (*Data Processing*), proporcionados con el instrumento, para permitir el procesamiento posterior de los datos (figura 15-12). Los detalles de cada instrumento son particulares a su modelo y se recomienda la revisión cautelosa de los manuales de operación para mayor información sobre su configuración y características. La configuración predeterminada es en modo de perfil, con frecuencia de 4 registros por segundo (4 Hz).

Figura 15-12: Perfiles verticales de temperatura, salinidad y fluorescencia de la clorofila-a en dos sitios (El Muñeco y la mitad del Canal Bolívar, en Isla Isabela), en los que se observan termoclinas (zonas de rápido cambio de temperatura) fuertes y de poca profundidad. Además, se observan dos distribuciones diferentes de fluorescencia: en El Muñeco, la distribución es homogénea en la superficie; mientras que en el Canal Bolívar se observa un máximo subsuperficial.



Antes de realizar perfiles verticales en campo, se debe realizar un prechequeo en el laboratorio para constatar el funcionamiento adecuado del instrumento y de sus baterías, conectándolo a un computador para la transmisión de datos directos. Se recomienda que sea manipulado por dos personas para su lanzamiento manual y que sea sujeto mediante un cabo de buena calidad de por lo menos 0.25-0.5 pulgadas de grueso y 70 m de extensión. El cabo debe asegurarse con nudos confiables al mosquetón del instrumento u otro mosquetón fuerte de acero, y/o a la caja de acero del instrumento.

En el sitio de muestreo, se debe verificar la profundidad del sitio mediante los instrumentos de la embarcación, o con un profundímetro si el lanzamiento se realiza desde una panga o bote pequeño, y se deben almacenar las coordenadas del sitio en el GPS. Se debe registrar en papel (o computador impermeable de campo) el nombre y/o código del sitio, las coordenadas exactas y la profundidad. Se debe solicitar al Capitán de la embarcación o al pangero que pongan el motor en modo neutral. Luego, se procede a encender el CTD y se sumerge levemente por debajo de la superficie durante 2 minutos para su "aclimatación". La bomba que circula agua por los sensores está programada de forma predeterminada para empezar a trabajar después de unos 45 segundos y jamás debe funcionar fuera del agua por más de 30 segundos para no dañar el motor. Transcurridos los 2 minutos, se debe bajar el instrumento a una velocidad constante que no supere los 30 cm por segundo. Tanto en el lanzamiento manual como cuando se utiliza un winche, una persona debe encargarse de desenredar el cabo conforme se necesite. Es recomendable atar el final de la soga a algo fijo en la embarcación. Se debe llevar la cuenta de cuántos metros se ha sumergido el instrumento para evitar que toque el fondo. Esta prevención es importante no sólo porque al tocar el fondo se pueden levantar sedimentos e interferir con algunas mediciones (especialmente fluorescencia y parámetros químicos), sino porque el CTD puede quedar estancado en una roca o bajo un submarino. Para obtener un registro adecuado solo es necesario sumergir el instrumento hasta



(Imagen: J. Morrison)



(Imagen: G. Fledman)

la profundidad deseada y retornarlo a la superficie a una velocidad constante. El CTD almacenará los perfiles de inmersión y ascenso, los cuales pueden ser separados posteriormente durante el análisis de datos o utilizados como un promedio.

Una vez que el instrumento retorna a la superficie, se debe apagar lo más pronto posible para evitar el mal funcionamiento de la bomba de agua y el consumo innecesario de la batería. Después de cada viaje, es imprescindible enjuagar con agua dulce el instrumento y descargar todos los datos, así como documentar otros detalles importantes del muestreo. El programa de descarga de datos también permite descargar encabezados con información adicional sobre cada perfil, los cuales deben mantenerse como archivo de referencia junto a los datos.

Muestreos de plancton

Métodos de colecta y cuantificación

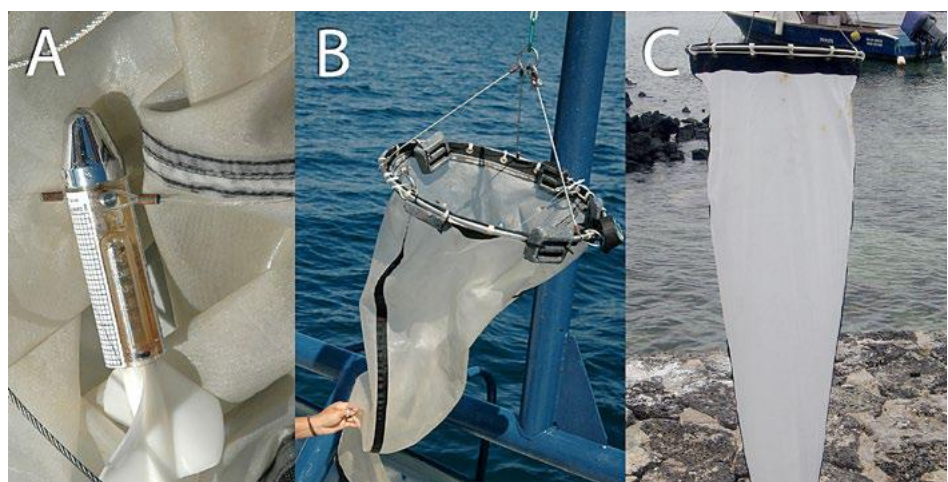
El principal instrumento para la colecta de plancton es la red de plancton; sin embargo, tanto la red como su metodología de uso, pueden presentar diferencias o modificaciones según los objetivos del muestreo. La red de plancton, como su nombre indica, es una malla fina o red, usualmente con forma cónica; cuya base se encuentra abierta mediante un marco circular de acero, y en cuyo extremo se coloca un vaso colector (figura 15-13).

En resumen, los principales factores que se deben considerar para el muestreo de plancton son:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1. Material de la red. | 4. Velocidad del arrastre. |
| 2. Tamaño del poro de la malla. | 5. Eficiencia de filtración. |
| 3. Profundidad de muestreo. | 6. Mecanismos de cierre. |

Usualmente, la mayoría de redes son de nylon o de seda y, dependiendo de su tamaño, pueden ser maniobradas incluso por un solo individuo desde una panga o bote pequeño. Al arrastrar la red por un medio acuático, esta concentra los organismos planctónicos que se encuentran en el agua que pasan por ella. Los diversos grupos funcionales del plancton, como el fitoplancton y el zooplancton, difieren principalmente en tamaño promedio, por lo que es necesario distintos tamaños de poro de malla para capturar distintos tipos de organismos. Además, los organismos pueden encontrarse distribuidos en parches en la superficie o a cierta profundidad dentro de la columna de agua debido a factores ambientales, o incluso migrar verticalmente a diario o en distintos meses del año, en respuesta a la luz o como parte de su ciclo de vida. Esto debe tomarse en consideración para definir la metodología de muestreo, que puede incluir arrastres horizontales a pocos metros de la superficie y/o a distintas profundidades, o arrastres verticales para muestrear toda la columna de agua.

Figura 15-13: (A) Medidor de flujo instalado en la boca de una red de plancton; (B) Red cónica de zooplancton con malla de 335um o 100um; (C) Red cónica de fitoplancton con malla de 20um.



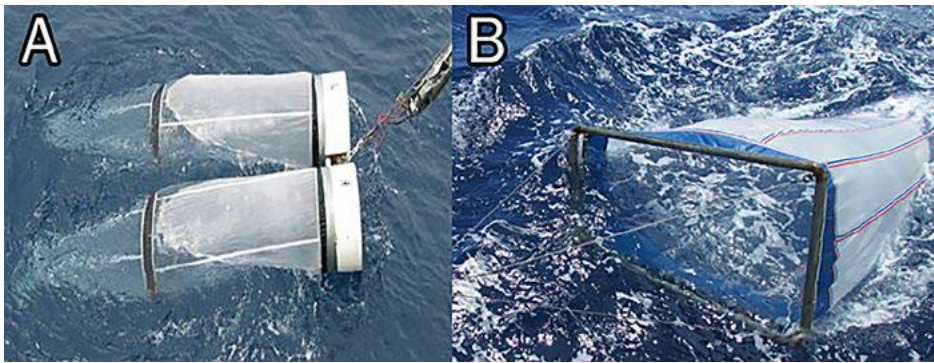


Figura 15-14: (A) Red de bongo en la superficie (B) Red de neuston, utilizada para colectar organismos que flotan en la superficie o directamente bajo ella, como algunos tipos de larvas de peces y medusas.

La cantidad o volumen de agua que la red filtra depende del tamaño (área) de la boca de la red, de la velocidad y de la duración del arrastre. Durante los arrastres se utiliza una velocidad promedio de entre 2 y 3 nudos (aproximadamente 1-1.5 metros por segundo), la cual se considera apropiada para evitar que los organismos escapen de la red o se colecten ejemplares en mal estado. El volumen filtrado (m^3) se calcula, por tanto, multiplicando el área (m^2) de la boca de la red por la velocidad (m/s) y por la duración (s) del arrastre. Debido a los varios factores que pueden afectar la eficiencia de filtración, es recomendable el uso de un flujómetro o caudalímetro (figura 15-13A) para calcular con mayor exactitud el volumen de agua filtrada por la red. El caudalímetro usualmente reporta el número de revoluciones (giros de las aspas), el cual se traduce en la distancia recorrida durante el arrastre, utilizando el parámetro de conversión propio de cada instrumento. En este caso, el volumen filtrado se calcula multiplicando la distancia obtenida con el caudalímetro por el área de la boca de red. Los resultados del arrastre pueden expresarse como captura por unidad de volumen:

$$\text{Captura por unidad de volumen} = \frac{\text{(Plancton capturado)}}{\text{(Volumen filtrado (m}^3\text{))}}$$

Donde el plancton capturado puede expresarse en términos de biomasa y/o abundancia. La biomasa se puede calcular por métodos volumétricos por medio de la sedimentación de partículas o desplazamiento de líquidos, o por medios gravimétricos como peso húmedo, seco y peso libre de cenizas. El volumen del plancton capturado se expresa en mililitros (ml); la biomasa se reporta en unidades de gramos (g) o miligramos (mg) y puede referirse a peso húmedo o peso seco, libre de cenizas; mientras que la abundancia se expresa en número de individuos (ind).

En el caso de arrastres verticales u oblicuos, los resultados también pueden expresarse como captura por área:

$$\text{Captura por unidad de área} = \frac{\text{(Captura por unidad de volumen)}}{\text{(Profundidad máxima del arrastre (m))}}$$

Expresado en unidades de ml/m^2 , g/m^2 , mg/m^2 o ind/m^2 , según corresponda.

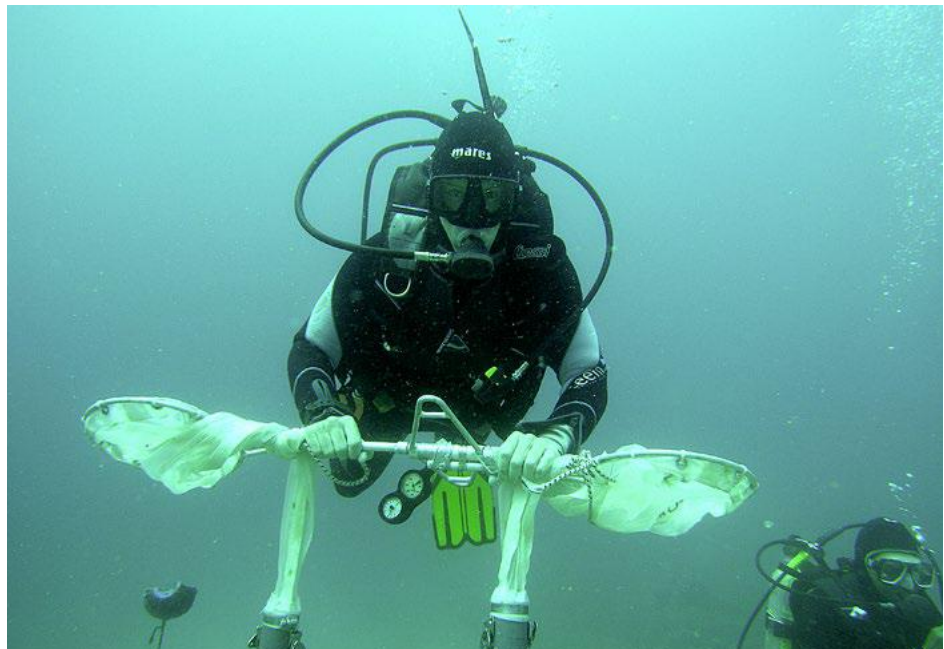
Además de la red cónica comúnmente utilizada, existen otros tipos de redes de plancton que se pueden utilizar. Las redes bongo (figura 15-14A y 15-15) son una adaptación de dos redes cónicas unidas por una barra entre sus bocas, de donde se conecta el cable o soga para el arrastre. Este tipo de redes minimiza interferencias en la boca de la red y obtiene dos muestras simultáneas, mejorando la efectividad del arrastre. Las redes de neuston son redes cuadrangulares que se usan con flotadores y aletas laterales para mantenerlas parcialmente fuera del agua (figura 15-14B). Además, existen redes con mecanismos de cierre, las cuales son utilizadas 'en cadena' y operadas desde buques de investigación para ejecutar muestreos estratificados (a varias profundidades) en la columna de agua, como en el diseño del instrumento CPR (*Continuous Plankton Recorder*).

También se pueden utilizar bombas de succión de agua para su posterior filtrado secuencial por los distintos tamaños del poro de la malla. Este método puede permitir la medición de otros parámetros físico-químicos en la misma muestra de agua. Su principal ventaja es la medición precisa del volumen de agua filtrada, sin embargo, presenta gran evasión de los organismos y dificultad para muestrear estratos profundos.

Las muestras de agua colectadas en botellas también se pueden emplear para analizar concentraciones de microplancton y nanoplancton y para determinar la concentración de clorofila. Las botellas más comunes son las de Nansen, Niskin y Van Dorn, las cuales pueden ser empleadas individualmente en secuencia a varias profundidades, o instaladas en una roseta multimuestreadora para su apertura remota desde un buque de investigación.

Otra de las posibilidades para el análisis cualitativo y semicuantitativo de plancton es el uso de fotografía y video submarino de alta resolución, los cuales permiten la observación directa de organismos hasta grandes profundidades, el registro de formas frágiles difíciles de capturar intactas, y la apreciación rápida de toda la columna de agua.

Figura 15-15: La red de bongo también puede ser manejada por buzos en rastreos submarinos al nivel de comunidades bentónicas (imagen grupo Witman).



El muestreo durante los cruceros de monitoreo ecológico

Los muestreos de plancton efectuados en la Fundación Charles Darwin datan desde marzo del 2004. La metodología empleada varía según el tipo de arrastre. Los muestreos superficiales colectan información sobre la abundancia y composición del plancton en el primer metro de agua bajo la superficie, mientras que los arrastres verticales y/u oblicuos colectan información sobre todo de la columna de agua.

Para efectuar muestreos de zooplancton, la red utilizada en el monitoreo ecológico es una red tipo CalCoFi (*California Cooperative Fisheries*) de forma cónica, con 50 cm de diámetro en la boca y 333 micras (μm) de tamaño de poro de la malla. En los muestreos costeros o en zonas interiores se emplea una red tasco de forma cónica con 335 micras de poro en la malla y 25 cm de diámetro en la boca.

Las colectas de plancton se efectúan mediante arrastres superficiales en los que desde la embarcación se lanza la red haciendo que esta avance lentamente hasta que la red quede extendida totalmente. A la red se le añade un flotador mediante

una soga, de forma que exista aproximadamente 1 m de distancia entre la boca de la red y el flotador. En la boca de la red se incorpora un flujómetro (instrumento con forma de cohete, que al final del cuerpo tiene una hélice que registra las revoluciones generadas por efecto del flujo del agua). Conforme avanza la embarcación, el agua y los organismos entran por la boca. Los organismos quedan retenidos en el vaso colector y en la malla, mientras que el agua escapa por los poros de la malla. Cada muestreo debe registrarse en el GPS, el cual también puede servir de guía al panguero para no superar los 2.5 nudos de velocidad en un rumbo recto. Los arrastres horizontales tienen una duración estándar de 10 minutos.

Las muestras de plancton deben ser guardadas en frascos de 250 - 500 ml de capacidad, con boca ancha y lisa. Para evitar perder organismos por depredación dentro del envase, la muestra debe ser fijada en campo y almacenada en tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). También pueden usarse otros fijadores a base de yodo y potasio, o lugol. Este último es generalmente utilizado con fitoplancton puesto que colorea las estructuras.

Aunque las colectas de plancton tardan apenas minutos, el análisis de las muestras puede llevar incluso años debido a la diversidad de los organismos, y se requiere de diferentes profesionales para lograr las identificaciones precisas.

Se debe procurar que las muestras sean almacenadas en zonas oscuras para mantener el color, y a una temperatura entre los 5° - 20° C. Aunque las colectas de plancton tardan apenas minutos, el análisis de las muestras puede llevar incluso años debido a la diversidad de los organismos, y se requiere de diferentes profesionales para lograr las identificaciones precisas (figura 15-16).

Figura 15-16: Ejemplos de zooplancton registrados en el laboratorio. Allí se requiere bastante trabajo para contar y separar las muestras de plancton para su grabación e identificación. Las muestras pueden quedar guardadas en el corto plazo. Sin embargo, es importante mantener un balance entre la colección de muestras tomadas en el campo y la capacidad del personal para trabajar en la microscopía y su posterior análisis. De izquierda a derecha: un *amphipod Phronina*, un *pteropod*, *Phialopsis*, un *calanoid copepodo*, un quetognato y un eufasido.



En muchos casos, un análisis del total de muestras colectadas es imposible en términos de tiempo y personal, por lo que se obtienen alícuotas de cada muestra. Para ello se emplea un separador de Folsom en el que se vacían las muestras diluidas a un mismo volumen después de la extracción de los organismos y partículas superiores a 10 mm. En el separador se homogeniza la muestra diluida y se obtienen dos alícuotas de igual volumen. El procedimiento puede repetirse de ser necesaria una alícuota de menor volumen. La identificación del zooplancton se realiza visualmente, colocando la muestra en un microscopio estereoscópico. Es conveniente utilizar un contador manual múltiple con etiquetas para los distintos tipos de organismos o grupos de organismos a identificar. Para la identificación de fitoplancton se emplea un microscopio electrónico.



Sistema hidrotermal 'Las Iguanas' a 1680 m de profundidad, 50 km NO de Darwin. (Imagen: cortesía de Vulcan Inc.)

16

TÉCNICAS DE MONITOREO REMOTO SUBMARINO

Ejemplos de submarinos remotos utilizados para explorar profundidades de la RMG >40m con límites de profundidad de 120 m, 200 m y 2.5 km



(Imagen: S. Banks)



(Imagen: M. Vera)



(Imagen: M. Vera)

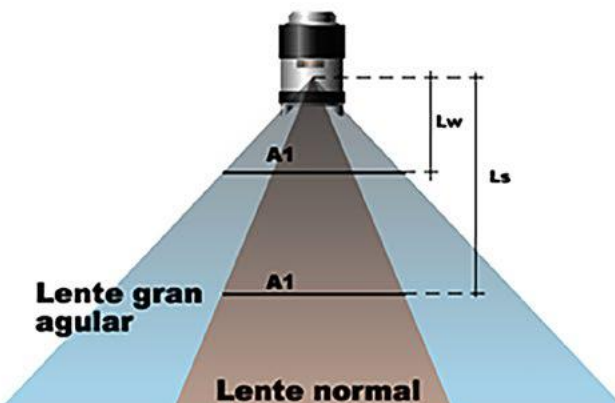
El monitoreo remoto es un método que permite describir comunidades bénticas asociadas a fondos marinos de forma rápida y efectiva (Preskitt, et al., 2004) con ayuda de registros visuales de fotografía y/o video. Aunque puede ser demandante en términos de tecnología, los vehículos remotos no tienen las limitaciones de tiempo y/o de profundidad que el buceo *Scuba* exige. Facilita la colección de información visual que puede ser comparable entre años, sitios y grupos de investigación, evitando posibles sesgos o errores de observación humano, y es relativamente rápido en aguas someras o profundas. No obstante, es importante recordar que estos métodos también requieren de mucha inversión y seguimiento en el post-procesamiento de los videos e imágenes.

Cuadrantes fotográficos en el submareal <40m

El método más rápido y eficiente en el campo para obtener datos para determinar el porcentaje de cobertura es el muestreo con cuadrantes fotográficos fijos (Foster, et al., 1991). Los patrones de diversidad de especies se determinan al tomar fotos de cuadrantes normalmente de 0.25m² a lo largo de un transecto permanente.

Para esto, se emplea un equipo fotográfico compuesto por una cámara Nikon D80, un lente Fisheye 10,5 mm f/2.8G ED AF DX - Nikkor *autofocus lens*, un *housing Ikelite* y un Puerto *Ikelite Domo* de 8". El equipo fotográfico se coloca sobre un marco de aluminio (figura 16-1) que mantiene el domo a una distancia determinada con respecto al sustrato de aproximadamente 30 cm. Es importante considerar la relación entre el tipo de lente, la distancia entre el lente y el sustrato y la superficie que se pretende fotografiar para que la imagen tenga una resolución lo suficientemente buena como para identificar organismos mayores a 2 o 3 mm. (Foster, et al., 1991; Witman, 1985). En metodologías recientes se han utilizado cámaras digitales por la facilidad para manipular las imágenes, corregir distorsiones periféricas (figura 16-2) y usar programas multispectrales que pueden apoyar en el análisis simultáneo de una gran cantidad de imágenes con un respaldo estadístico (MultiSpec, Purdue University, IL/ CPCE, Nova University) (figura 16-3 y 16-4).

Figura 16-1: La construcción de un fotocadrante depende mucho del tipo de lente para una captura con una resolución alta que facilite la identificación de las imágenes.



Los cuadrantes fotográficos se toman de forma sistemática, a intervalos determinados a lo largo de un transecto fijo sobre el fondo marino (normalmente cada 5 m o 10 m). El número de cuadrantes fotográficos es establecido con base en un balance entre el tiempo de inmersión, el largo del transecto y la curva de saturación de especies.

El análisis de la información se realiza después de la inmersión. Una vez revelado el film, las imágenes se proyectan en una pantalla con los extremos de la imagen sobre un marco rectangular dividido en un número determinado de cuadrículas. Finalmente, el porcentaje de cobertura se determina, al igual que en el campo, al contar el tipo de organismo que coincide con la intersección de cada cuadrícula (Foster, et al., 1991, Witman, 1985) (figura 16-3). Adicionalmente, se identifican todos los organismos observados, clasificándolos como especies o dentro de grupos funcionales de acuerdo con el nivel de conocimiento taxonómico.

A diferencia de los cuadrantes monitoreados *in situ*, el análisis de los cuadrantes fotográficos no presentan limitación de tiempo para la identificación de las especies o para el análisis de cobertura o abundancia. Sin embargo, este método no es eficiente para determinar la abundancia de organismos sobre fondos cubiertos por algas foliosas densas que tapan a otros organismos (Foster, et al., 1991; Witman, 1985) y que, en muchos casos, subestima la megafauna ampliamente dispersa (Smith & Witman, 1999).

Figura 16-2: Una cámara con lente Fisheye también tiene aplicaciones para caracterizar hábitats, pero es necesario corregir el efecto de distorsión (imágenes: D. Ruiz).



Figura 16-3: (A) Ejemplo de un cuadrante fotográfico con proyección sobre una cuadrícula para el análisis y la estimación de la abundancia de especie y (B) el muestreo con puntos al azar utilizando el programa CPCE.

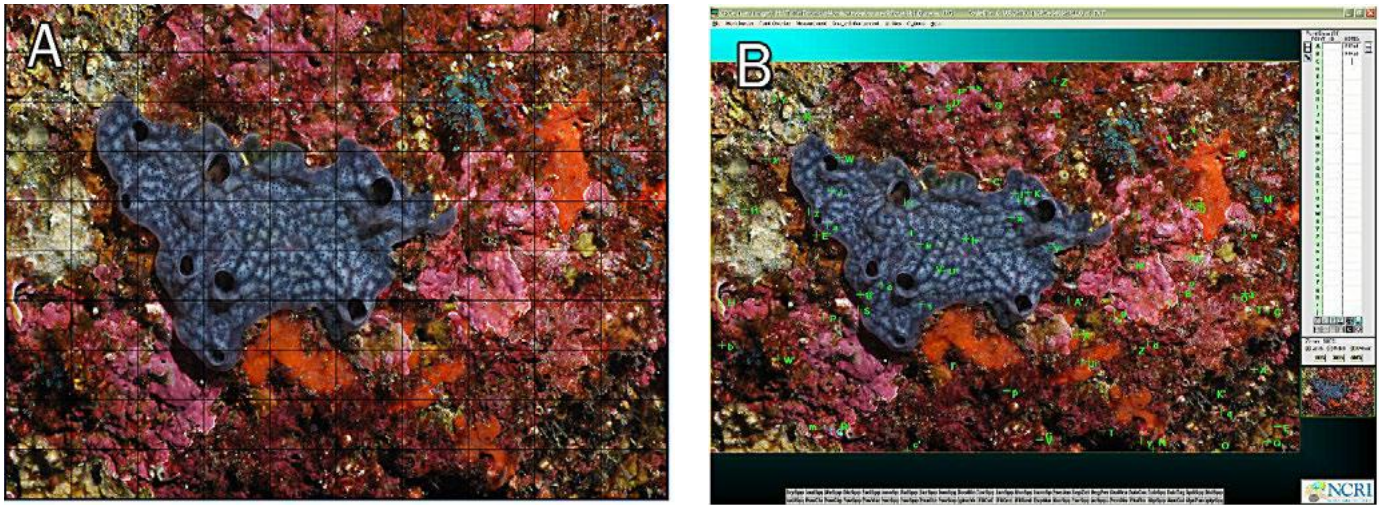
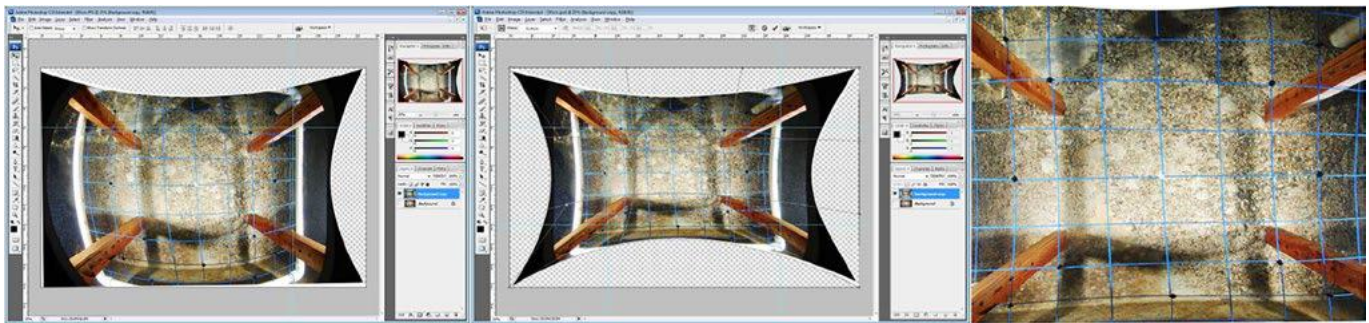


Figura 16-4: Software para la manipulación de imágenes puede corregir la distorsión causada por los lentes de las cámaras con la pérdida de nitidez en los bordes.



Videotranssectos

Al igual que con los cuadrantes fotográficos, los videotranssectos pueden utilizarse para cuantificar los organismos asociados a los fondos rocosos e incluso determinar porcentajes de cobertura de organismos sésiles sobre el sustrato.

Al extraer imágenes independientes del video, estas se pueden analizar con la misma metodología utilizada en el análisis de los cuadrantes fotográficos, pero es importante considerar la resolución del video.

Lo más recomendable es esplazarse lentamente durante la grabación del transecto. Una velocidad de 10 cm/segundo permite maximizar el enfoque y la resolución del video. Pero si se requiere mayor seguridad para que la cámara tenga tiempo para ajustar el foco y la exposición, se recomienda una velocidad de 10 cm / 3 segundos (Witman, et al, 1999). Más indicaciones sobre sistemas de BRUV y DOV con uso de láseres para la calibración de distancias se encuentran descritas en la sección 11.

También es posible mejorar la resolución del video cuando se realiza la filiación del transecto a una distancia de 50 cm entre el lente y el sustrato, permitiendo identificar organismos que midan 0,5 cm (Witman, et al, 1999). Una alternativa bastante popular desde el 2013 es la serie de cámaras de Hero GoPro con resoluciones de hasta 12MP. Al grabar directamente en HD de 4K se tiene la ventaja adicional de una buena captura de imágenes que pueden extraerse del video.

Otras consideraciones

- Antes de realizar los cuadrantes fotográficos, se debe fijar un transecto permanente que permitirá realizar réplicas de muestreo en el mismo sitio a lo largo del tiempo.
- Colocar la base de la estructura de aluminio siempre en el mismo punto de referencia para fotografiar el cuadrante.
- En caso de haber sedimento sobre el fondo marino, tratar de removerlo agitando suavemente la palma de las manos sobre el área a fotografiar. Esto permitirá un mejor reconocimiento de las especies presentes.
- Tener en cuenta que si se utiliza una cámara digital se debe reducir la distorsión periférica de las imágenes antes de analizarla.
- Contar con toda la información taxonómica disponible para la identificación de las especies o grupos funcionales.

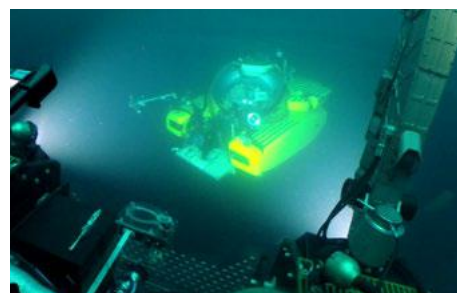
En búsqueda de las profundidades: El uso de tecnológicas de vehículos de operación remota (VORs)

A pesar de existir más de 15 años de investigación que ha catalogado más de 3500 especies marinas, nuestro entendimiento de la biodiversidad marina de Galápagos está todavía restringido por el costo monetario y la tecnología disponible al buceo *Scuba*, a profundidades <30m dentro de la zona costera, dejando la gran mayoría de hábitats marinos de aguas profundas y su diversidad inexplorados. La investigación en esta zona de aguas profundas, implica un gran potencial para nuevos descubrimientos en el área restante (>99%) de la RMG. De esas pocas expediciones internacionales que se han aventurado a esas zonas, se tiene el sentimiento general de que "a mayor profundidad, menor conocimiento", lo cual establece tanto un reto tecnológico como una nueva frontera de exploración de nuestros 'espacios internos'. Se conoce más de la superficie de Marte que de nuestros océanos.

Los hábitats de aguas profundas y superficies costeras están interconectados, y muchas especies de importancia para la biodiversidad, pesquerías y manejo turístico tienen distribuciones espaciales verticales significativas. En respuesta a la falta de información de las zonas de aguas profundas, cámaras de video y vehículos de operación remota (VOR) empezaron en el 2004 a sumergirse en el mundo desconocido bajo las olas. Estas cámaras simples, que alcanzan los 100 m, proveyeron los primeros vistazos de especies que se creían extintas (ej. lápices marinos *Ptilosarcus sp.*, *Cavernulina sp.* [Hickman, 2008]). Comportamientos alimenticios de lobos marinos y tortugas marinas también fueron observados. Se registraron bosques de coral negro donde nunca antes se los había visto, gruesas alfombras anóxicas de bacterias fueron registradas en cráteres sumergidos, se vieron corales de aguas profundas y peces, y se avistaron invertebrados en cada inmersión. Recientemente, en el 2007, el alga 'kelp' de aguas profundas (*Eisenia galapagensis*), que se pensaba solo se encontraba a mayores latitudes, fue descubierta en Fernandina a una profundidad de 80 m, un descubrimiento que ha causado mucha discusión en la comunidad científica internacional y que cambió nuestro entendimiento de la distribución global de esta importante especie constructora de hábitats.

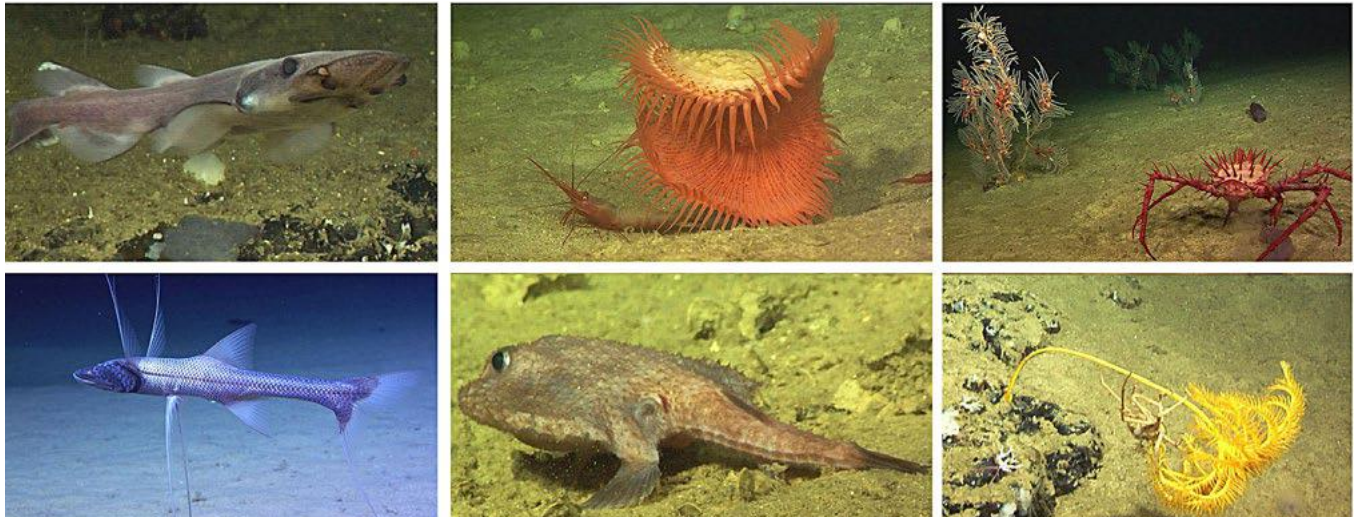
Hasta la fecha, los pocos esfuerzos con VORs han sido, sobre todo, eventos de oportunidad más que de planificación que, sin embargo, han dado lugar al registro exitoso de especies nuevas o raras.

A mayor profundidad, el costo operacional incrementa dramáticamente. Una de las misiones científicas internacionales más publicitadas en los últimos 30 años utilizó el submarino tripulado S/V Alvin, el cual fue el primero en documentar el centro de desplazamiento volcánico entre las placas tectónicas de Galápagos. El



En colaboración con operaciones especialistas de investigación y exploración en aguas profundas, ha sido posible avanzar estudios preliminares de línea base sobre los sistemas escondidos y poco entendidos de la RMG (40 m a 1000 m de profundidad). (Triton & Deep Rover II submergibles con soporte de Dalio Ocean Initiative).

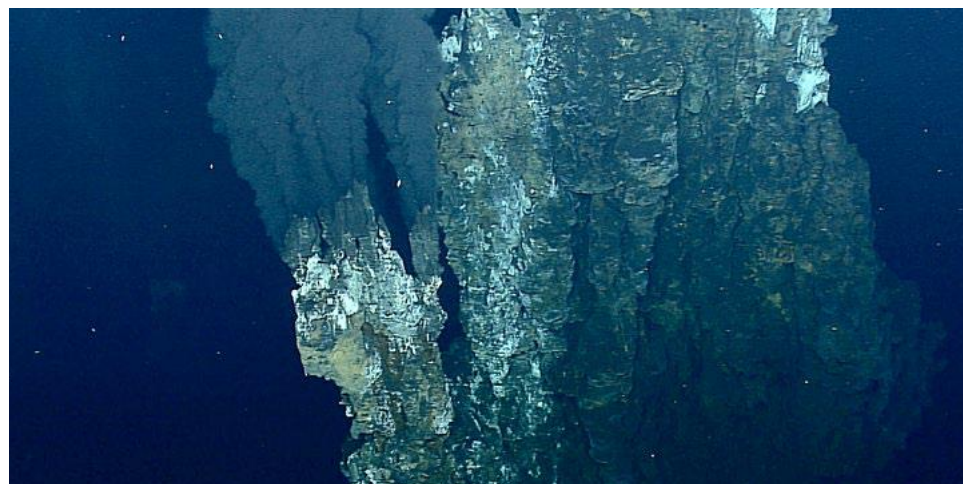
Figura 16-5: Imágenes de alta definición (cortesía de la operación del M/V Octopus) colectadas por el vehículo remoto de exploración (ROV) a 1500 m en el año 2005. Arriba, de izquierda a derecha: *Apristurus* sp.; *Actinoscyphia* sp.; *Gorgona, oxiuros* y cangrejo no identificados. Abajo, de izquierda a derecha: *Bathypterois* sp., *Dibranchius erinaceus*, crinoideos (lirio de mar) y cangrejo no identificado.



descubrimiento de fumarolas efímeras de humo negro, con una gran abundancia de vida marina quimiosintética única en las que habitan en ventoleras sobrecalentadas a profundidades mayores a 3000 m, marcó una era en nuestro entendimiento de los sistemas oceánicos de aguas profundas. Esto también proveyó información sobre el origen de la vida en la tierra lejos de las aguas superficiales con luz solar. La expedición del Instituto Harbour Branch en 1995, con el submarino S/V Johnson-Sealink por la Academia de Ciencias de California, también documentó peces e invertebrados a 1000 m, registrando especies que nunca antes se habían documentado en Galápagos. En el 2005, la operación del M/V Octopus con la participación de un científico de la FCD, proveyó imágenes de su VOR a 1500 m de profundidad, que resultó en los primeros registros de varias especies de tiburones de aguas profundas de Galápagos (*Bythaelurus* Sp. y *Apristurus* Sp.), crinoideos, equinodermos y peces de aguas profundas (figura 16-5).

En el 2010, la llegada de la operación M/V Octopus resultó en una oportunidad para realizar varias inmersiones someras, de hasta 150 m, y profundas, de hasta casi 2000 m. Entre la DPNG y la FCD, con la colaboración externa del grupo de exploración profundo de *Woods Hole*, fue posible ubicar y documentar bentos hidrotermales en el sitio 'Iguanas' en el plano profundo a 50 km al noreste de Darwin, a 1670 m de profundidad. Esas chimeneas formadas por depósitos volcánicos o *black smokers* mantienen comunidades biológicas poco documentadas de origen quimiosintético (figura 16-6).

Figura 16-6: Imagen de alta definición de comunidades hidrotermales en el sitio 'Iguanas', ubicado en el Dorsal de Galápagos (*Galápagos Spreading Centre*), tomados por un vehículo remoto de exploración (ROV) a 1670 m en el año 2010. (Cortesía de la operación Vulcan Inc. del M/V Octopus).



A pesar del alcance de estos descubrimientos; los altos costos, la embarcación de apoyo y la experiencia necesaria para operar estos submarinos de investigación son altamente prohibitivos para que el PNG y la FCD puedan incrementar la exploración de los hábitats de aguas profundas en Galápagos por su propia cuenta (más que los VORs pequeños de la FCD y la operación de Lindblad). Sin embargo, cada año se presentan varias oportunidades para colaborar con grupos científicos internacionales externos, aunque se requiera de coordinación de permisos y objetivos y de buena voluntad por parte de las instituciones involucradas.

En caso de que en el futuro surjan otras oportunidades para inmersiones hasta los 2000 m, a continuación, algunas recomendaciones. Los sitios propuestos fueron elegidos con base en su relevancia para la línea base de las aguas profundas para la caracterización de ese hábitat, y por temas del ordenamiento de usos en los espacios abiertos y profundos de la RMG. Según la dinámica del crucero, se adaptará el muestreo, en lo posible, a lo siguiente, utilizando la batimetría más actualizada posible para planificar las inmersiones en cada zona (figura 16-7):

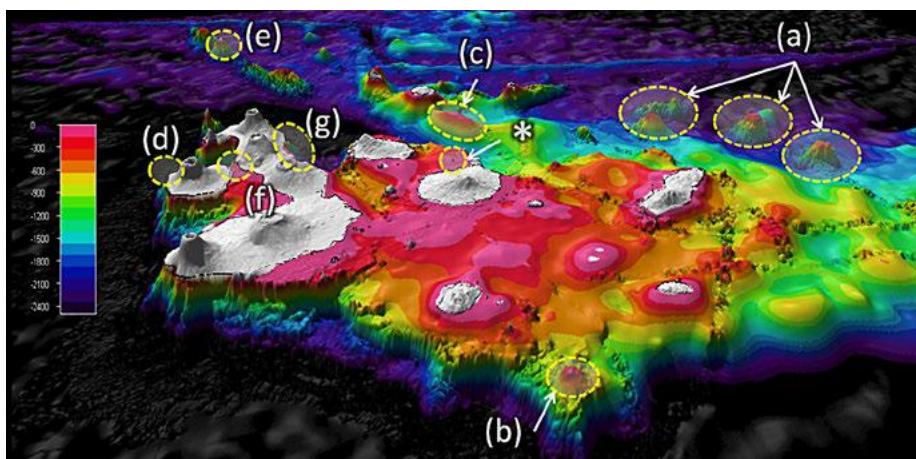
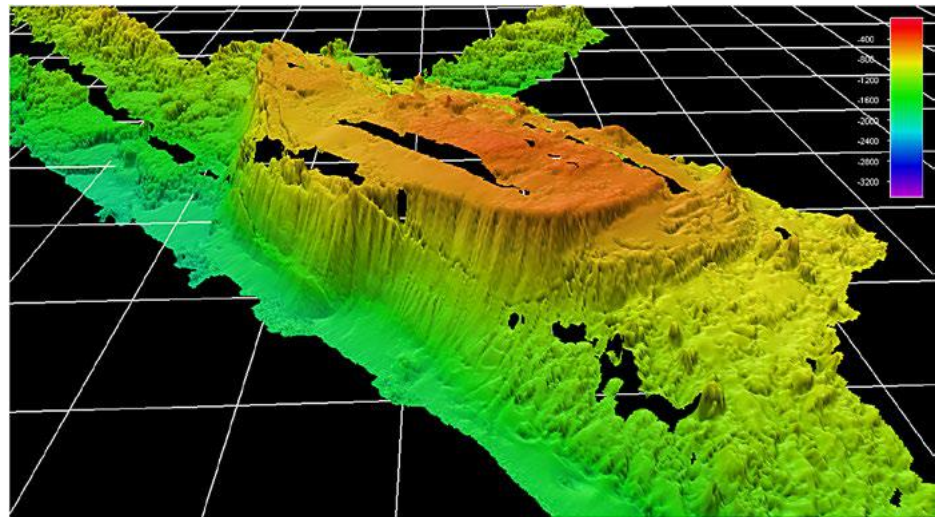


Figura 16-7: Zonas de interés por inmersiones exploratorias con VOR hasta 2500 m de profundidad. Letras corresponden a la lista de los sitios propuestos (arriba). El símbolo * indica el bajo somero entre islotes Daphne Menor y Mayor, el cual es un buen sitio para probar la tecnología sumergible cerca a las facilidades portuarias de Baltra.

- a. Por lo menos uno de los montes submarinos oceánicos al este de San Cristóbal. Se representan ejemplos de islas hundidas y son zonas de alta importancia por su productividad pesquera de pesca blanca y por la modalidad de turismo de pesca vivencial.
- b. El bajo insular llamado 'Bajo Wittmer' al este de Floreana.
- c. Un perfil vertical (2000 m - 800 m) en las faldas del monte submarino "de mesa" (de 50 km de extensión), ubicado sur de Marchena (figura 16-8).
- d. La zona noroeste de fisura en Fernandina.
- e. La pendiente de Bahía Tiburón / el derrumbe al este de la Isla Wolf.
- f. La pared vertical dentro el Canal Simón Bolívar, oeste de Isabela, norte de Caleta Tagus.
- g. La caída vertical cerca de Cabo Marshall, noroeste de Isabela.

El uso de un VOR representa un método muy innovador pero difícil de conseguir para alcanzar esas profundidades para su exploración, algo que normalmente implica una operación extremadamente difícil de organizar y financiar (imagen realizada con *software Fledermaus*). Afortunadamente, varias operaciones especializadas con tecnología sumergible han coordinado sus expediciones a través de la DPNG durante los últimos 10 años (ej. M/V Octopus, R/V Alucia, R/V Nautilus, R/V Argo) y la documentación visual e inventario de comunidades profundas está mejorando.

Figura 16-8: Un monte submarino de 50 km de largo ubicado al sur de la Isla Marchena tiene una batimetría de 2000 m en su base y de 800 m sobre su plataforma. La tecnología sumergible provee una oportunidad única para entender mejor la ecológica asociada con formaciones geológicas profundas.



Preguntas asociadas de la Investigación:

1. Se han observado cambios dramáticos en la flora y fauna de la Isla del Coco. Estos cambios se observaron aproximadamente a 50 m con una variación sobre los 13° C en la temperatura (Cortés & Blum, 2008). ¿Es este el caso en Galápagos?, ¿Están estos cambios ligados a una mezcla de masas de agua en la termoclina? ¿Cómo afectaría esto la migración vertical de las especies desde aguas más profundas hacia las zonas costeras?, ¿El oleaje interno durante los ciclos ENOS afecta estos límites?
2. ¿Hay alguna evidencia de especies consideradas como recursos costeros, semejantes a langostas, pepinos de mar, bacalao, camotillo, etc. a mayores profundidades?, ¿Cuáles son sus tallas de distribución y potenciales contribuciones o implicaciones para el manejo de la zona costera?
3. ¿Cuáles son las distribuciones verticales de las grandes migraciones de especies importantes para el turismo y la función del ecosistema (ej. tiburones, rayas, corales, erizos y macroalgas) a mayores profundidades?, y ¿Cómo el gradiente biofísico en la columna de agua afecta su distribución?
4. ¿Están consideradas en la Lista Roja de UICN, especies raras o nuevas aún no documentadas en las aguas profundas de Galápagos? Trabajos recientes usaron técnicas sumergibles en la Isla del Coco, Costa Rica, y permitieron descubrir fauna que se creía perdida para el Trópico del Pacífico Ecuatorial, ¿es este también el caso de Galápagos?
5. ¿Hay diferencias entre las especies de aguas profundas de las regiones frías (zonas de afloramiento), regiones cálidas subtropicales y regiones centrales de mezcla, como lo observado en zonas costeras poco profundas?
6. ¿Cuáles son las extensiones de profundidad de los bosques de macroalgas endémicas de Galápagos, recientemente descubiertas, y de los hábitats productivos de macroalgas registrados en el oeste del archipiélago (Graham et al 2007)?



Ejemplo de colecciones de biota durante muestreo geológico en el crucero oceanográfico NSF-Flamingo (MV/Melville 2010). (Imagen: S. Banks)



Preparando algas en el campo. (Imagen: S.Banks)

COLECCIÓN, FIJACIÓN, PRESERVACIÓN Y ETIQUETADO DE ESPECIES

17

La colección y estudio de las muestras, así como los equipos adecuados para tal fin, constituyen parte fundamental de la investigación de campo. Estos elementos orientan el proceso que debe seguir el investigador en lo relacionado con el método de preservación de las muestras.

Al extraer especímenes con el fin de preservarlos y confirmar su especie, el investigador debe previamente revisar las guías de identificación de especies que se encuentran a bordo, para evitar sacrificar organismos innecesariamente. Es recomendable conocer el tipo de estudio que se efectuará con el tipo de espécimen colectado, ya sea morfología, embriología, anatomía, entre otros.

Generalmente, las muestras colectadas son transportadas al laboratorio para ser analizadas con la ayuda de los equipos adecuados. Se deben etiquetar todas las muestras extraídas por duplicado y con la mayor cantidad de información relevante (sección 18; ficha de colección). Una etiqueta debe ir adherida al recipiente y otra debe ir en su interior.

Los métodos más comunes de preservación de las muestras son la refrigeración y el congelamiento. El primer método es muy fácil ya que la muestra no requiere tratamiento y puede permanecer por largo tiempo en una nevera a una temperatura de 4° C. El segundo método tiene dos variantes, las cuales requieren de una metodología un poco más compleja. La primera variante emplea hielo seco, cuya disponibilidad es limitada en las islas. La segunda variante es logísticamente más recomendable y utiliza hielo húmedo, por lo cual se deben guardar las muestras en recipientes a prueba de agua.

Por lo general, los viajes son muy largos y la embarcación no dispone del espacio necesario para aplicar estos métodos de preservación *in situ*, por lo que comúnmente se fija la muestra con formalina neutralizada y/o alcohol.

Peces

Inicialmente, se deben fijar en formalina neutralizada con una concentración del 10%. En caso de requerirse estudios de tipo genético, molecular o afines, las

Colecciones de especímenes en el campo están identificados en el laboratorio marino para que luego entren a las colecciones nacionales.



(Imagen: S. Banks)



(Imagen: N. Tirado)



Raya marmoleada *Taeniura meyeni*
(Imagen: R. Gallardo)



Dólar de arena, *Encope sp.*
(Imagen: M. Vera)

muestras se preservan en alcohol etílico al 90 - 96% (Espinosa-Pérez 2003) puesto que de esta forma es posible recuperar el material genético de los tejidos.

Luego de registrar las características más sobresalientes y obtener fotografías de los especímenes en estado fresco, se fijan las muestras con formalina. Una vez en el laboratorio se guardan las muestras en la colección con alcohol etílico al 70% o en isopropílico 40 - 50% (Anderson, 1965 & Knudsen, 1972 en Wobeser, 1987), y se reemplazan las etiquetas de colecta con las de colección. Entonces, se debe registrar el número correspondiente al catálogo de muestras del área de investigación y conservación marina.

Invertebrados

La recolección de invertebrados es manual, sin utilizar ningún tipo de trampa y basados en la necesidad de identificación. Es decir, estos organismos solo deben colectarse en caso de sospechar que se trata de una especie no identificada o poco avistada. Para la recolección de larvas se deben efectuar arrastres con redes grandes de plancton, durante 10 minutos, a una velocidad de entre 2 y 3 nudos. Se debe tener en cuenta que estos organismos presentan exoesqueleto calcáreo, el cual puede ser destruido por altas concentraciones de formalina no neutralizada.

En el caso de los mesogastrópodos, se identifican a bordo, descartando conchas habitadas por cangrejos ermitaños. En caso de no ser posible su identificación en el campo, son transportados al laboratorio en frascos o bolsas herméticas de acuerdo al tamaño y a la cantidad de organismos. En caso de tratarse de bolsas, se debe evitar dejar burbujas de aire. Antes de ingresar la colección de forma definitiva, se debe secar los organismos para evitar que se llenen de hongos por la humedad.

Los ofistobránquios deben colocarse por un par de horas en agua de mar con cloruro de magnesio para que sus tejidos se relajen. Cuando los organismos están totalmente relajados o muertos recientemente –lo cual se determina por la falta de respuesta al presionar su rinóforos– se pasan por formalina al 4% durante 10 horas y, posteriormente se conservan en alcohol al 70%. Si el alcohol cambia de color debe ser reemplazado hasta que pueda verse a través del recipiente transparente en el que se encuentra.

Al coleccionar gasterópodos y bivalvos se debe considerar su tamaño. Los organismos inferiores a 4 cm se deben colocar inmediatamente en alcohol al 95% y dejarlos por unos 5 días, cambiando el alcohol. Luego se pasan por la secadora por al menos 5 horas para evitar malos olores. En caso de organismos grandes, la literatura recomienda hervirlos para extraer el cuerpo cuando la concha aún está caliente, y se recomienda usar una pinza curva para facilitar el trabajo. Si se desea conservar el cuerpo, se deben colocar los especímenes en agua de mar con mentol para relajar los tejidos. Una vez comprobada su muerte, los organismos se transfieren directamente a alcohol al 70% para preservarlos.

Para sacrificar crustáceos se puede escoger entre narcotizarlos con cristales de mentol o con gotas de cloroformo. Luego se preservan en formalina neutralizada al 6-10% de concentración.

Organismos sésiles

Las plantas vasculares acuáticas se fijan en AFA (solución que contiene alcohol, formalina y ácido acético). Otra de las posibilidades es fijar con formalina al 3-5% en agua de mar. Es preferible fijarlas durante la noche y guardarlas fuera del alcance de la luz para evitar que se blanqueen. Los especímenes carnosos se deben limpiar de residuos de arena, conchas pequeñas y otros, y fijarse en formalina. Luego se empapan en una solución de glicerina al 40% con 3% de formalina, y se secan en contenedores pequeños de cartón con una fuente de calor que puede ser una bombilla. Finalmente, son pegados en cartulina de herbario y etiquetados según corresponda.

Tabla 16-1: Tratamientos típicos para la anestesia, fijación y preservación de invertebrados.

Taxa general	Taxa específica	Agente relajante	Solución para fijación	Solución de lavar	Solución final de preservación
Porifera	-	n/a	10% formalin con agua de mar y buffer de methenamine	70-80% EtOH cambia dos veces	70-80% EtOH
Cnidaria	<i>Anthozoa</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	6-10% formalin con buffer de fosfato	30%, 50%, 70% EtOH	70% EtOH
	<i>Hydrozoa</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	4% formalin con buffer de fosfato	30%, 50%, 70% EtOH	70% EtOH
Bryozoa	-	MgCl ₂ (c. 7%)	5% formalin con buffer de fosfato	30%, 50%, 70% EtOH	70% EtOH
Annelida	<i>Polychaeta, Oligochaeta y Hirudinea</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	10% formalin en agua de mar con buffer de fosfato	30%, 50%, 70% EtOH	70% EtOH
Crustacea	<i>Decapoda</i> y otros crustacea más grandes	MgCl ₂ (c. 7%) o aceite de clavos	5-10% formalin en agua de mar con buffer de fosfato o 75% EtOH	50%, 70% EtOH	70% EtOH
	<i>Ostracoda, Copepoda, Branchiopoda y Amphopoda</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	4-10% formalin en agua de mar con buffer de fosfato o 70% EtOH (solo Ostracoda)	-	70% EtOH
Mollusca	<i>Bivalvia</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	10% formalin con buffer de fosfato o 70% EtOH	30%, 50%, 70% EtOH	70% EtOH
	<i>Gastropoda</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	Formalin de 10% con buffer de fosfato	30%, 50%, 70% EtOH	70% EtOH
	<i>Polyplacophora y Monoplacophora</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	Formalin de 10% con buffer de fosfato	30%, 50%, 70% EtOH	70% EtOH
Echinodermata	<i>Ophiuroidea</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	70-75% EtOH	n/a	70% EtOH
	<i>Holothuroidea, Asteroidea y Echinoidea</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	70-75% EtOH	n/a	70% EtOH
	<i>Crinoidea</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	90% EtOH (fija los brazos hacia abajo)	-	70% EtOH
Urochordata	<i>Ascidiacea</i>	MgCl ₂ (c. 7%)	Formalin de 10% con buffer de fosfato	n/a	70% EtOH

Los especímenes de algas que no presentan cuerpos carnosos se deben extender sobre una cartulina y cubrirse con papel encerado, intercalado con papel secante (o papel periódico, en su defecto). Cuando se tiene una agrupación de especímenes, se atan bien con correas y se someten a una fuente de calor, de tal modo que el aire caliente circule hacia arriba.

Los reactivos para el tratamiento del resto de grupos, como hidrozooos, poliquetos, esponjas y anémonas, se detallan en la tabla 16-1. Es importante recordar que si se desea efectuar estudios genéticos o moleculares, los especímenes no deben ser tratados con formalina; en este caso es recomendable utilizar alcohol al 95% o etanol al 50%.

(Imágen: N.Tirado)





18

LAS COLECCIONES MARINAS

Un inventario actualizado de la biodiversidad y su distribución en la RMG

"Dentro de la colección marina contamos con 7264 registros, el 38% muestras secas, 61% muestras en alcohol etílico al 75%, y 1% en slides" (Crustáceos, Moluscos, Equinodermos, Cnidarios, Peces, Sedimentos, Otolitos y Plancton).

Natalia Tirado-Sánchez y Rosita Calderón
Curadores de las colecciones marinas. 2008 - 2014
(Informe Sept. 2013)

Con los insumos y aclaraciones de un red de especialistas en taxonomía, el registro de especies conocidas en la RMG ha aumentado a más de 3500 con la adición de grupos taxonómicos pocos estudiados (tabla 18-1).

Nuevas observaciones, fruto de las actividades de monitoreo y proyectos en el campo con recolección de muestras, quedan vinculadas con los datos de los censos submareales con un código único que se identifica en las colecciones marinas físicamente. Tras el proceso de identificación –lo cual a veces puede tomar años– los holotipos de especímenes se ingresan a la colección bajo condiciones controladas en el repositorio de muestras. Tendrán valor como referencias comparativas morfológicas, moleculares y genéticas, pero también permanecen a bajo la custodia de las Colecciones Nacionales del Estado Ecuatoriano como constancia del patrimonio natural de la región.

En algunos casos, estos quedan como evidencia de los únicos recuerdos tangibles de probables extinciones y de la fragilidad de ciertas especies. En otros, llama la atención el sesgo de investigación o protección brindado en ciertos grupos en comparación con otros. Es importante destacar que tales recolecciones y búsquedas dirigidas en el campo para especies poco comunes y endémicas ha generado nueva información que ha llamado la atención de su vulnerabilidad. Procesos con grupos de expertos para la Lista Roja de la IUCN para especies formadoras de hábitats como algas y corales han sido clave para establecer prioridades para la conservación (Carpenter et al 2008).

Desde el 2008 las *Species check-lists* han sido publicadas en línea como listas revisadas de la biodiversidad por grupos de taxónomos y están regularmente actualizadas por un proceso interno del FCD-Datazone que cuenta con una serie de chequeos con expertos. Está planificado seguir el camino para documentar fotografías en línea para cada espécimen, recibir insumos de expertos a través de foros virtuales y usar una herramienta en línea –que ya existen– para visualizar los sitios de las colecciones históricas.

Grupo	No. de especies residentes	No. de endémicos	% Endemismo	Riqueza de especies	Nivel de estudio
Mamíferos	24	2	8.3	Alta	Buena
Aves marinas	19	5	26.3	Alta	Buena
Reptiles marinas	2	1	50	Mediana	Buena
Peces ⁽¹⁾	553	75	13.6	Mediana	Moderado
Poliquetos	192	50	26	Mediana	Pobre
Gusanos planos marinos ⁽²⁾	171	21	12.3	Mediana	Pobre
Anfípodos	50	19	38	Mediana	Buena
Brachyurans	120	23	19.2	Mediana	Pobre
Caridea & Stenopods	65	10	15.4	Alta	Pobre
Cangrejos porcelanos	14	3	21.5	Baja	Moderado
Balanos	18	4	22.2	Baja	Moderado
Moluscos	780	141	18.1	Baja	Moderado
Opisthobranchs	49	18	36.7	Baja	Pobre
Equinodermos	200	34	17	Baja	Moderado
Bryozoos	184	34	18.5	Alta	Pobre
Anemonas	15	2	13.3	Baja	Pobre
Zoantidos	7	?	?	Baja	Pobre
Gorgonias	14	10	71.4	Mediana	Pobre
Plumas de mar	4	2	50	Baja	Pobre
Ceriantidos	2	0	0	Baja	Pobre
Hidroides	96	14	14.5	Alta	Moderado
Corales, hermatípicos	23	0	0	Baja	Buena
Corales, ahermatípicos	43	17	39.5	Mediana	Pobre
Algas ⁽³⁾	333	130	39	Alta	Pobre
Comunidades de meiofauna en fondos blandos ⁽²⁾	390	?	?	Alta	Pobre
Zooplankton ⁽⁴⁾	134	?	?	Mediana	Pobre
Total	3502	614			
Riqueza de Especies para grupos donde conoce el endemismo:	2971	614	20.7%		

- (1) El endemismo de peces insulares es mayor si se considera el GLPS-Cocos-Malpelo (17.8% después McCosker y Rosenblatt 2010). También 4 especies nuevas descritas por FCD aún no se han añadido en el 2013.
(2) En revisión - nuevos grupos de la lista de FCD Species Checklist añadido.
(3) En revisión - más de 550 especies de algas están registrados en la lista de verificación de especies CDF. Hasta confirmado usamos Hickman (2009) como referencia.
(4) Aquí consideramos sólo zooplankton permanente - es decir, sin incluir la macrofauna larval.

Cada año, el monitoreo submareal ha complementado la colección de ciertos grupos poco estudiados con mayor énfasis en algas e invertebrados sésiles. Este último grupo es bastante diverso y hay una falta de resolución taxonómica en toda la región. No obstante, como formadores de hábitats de criadero y con un rol productivo clave, tienen importancia como componente funcional en la estructuración del hábitat bentónico.

Oportunidades de proyectos puntuales sobre dieta, relaciones entre L-W y comportamientos de especies también han servido para mejorar la metadata ecológica asociada. Esta información está resumida en la tabla de especies en la Base Submareal Ecológica en la Base de las Colecciones de la FCD, siempre bajo revisión cuando llegan nuevas observaciones.

Tabla 18-1: Número de especies marinas en los principales grupos taxonómicos de Galápagos, después de Hickman (2009), ampliado y actualizado para incluir grupos adicionales hasta el 2013. Se omiten las especies visitantes transitorias y poco frecuentes.

Colecciones de algas marinas son mantenidas en el Herbario de la ECCD.



Eisenia Galapagensis (Imagen: CC-FCD)



Figura 18-1: Ejemplos de las colecciones marinas incluyendo organismos secados, preparaciones de partes de organismos que son diagnósticos para la identificación (como los otolitos de peces) y organismos preservado en solución de alcohol.

Ingreso de especímenes en el museo

Todos los invertebrados colectados en proyectos de investigación del área marina, de colaboradores científicos o de instituciones con fines científicos que tienen un permiso de investigación científica otorgado por la DPNG, pueden presentar especímenes para ser mantenidos en las colecciones. También especímenes históricos colectados por pescadores o guías de las islas Galápagos pueden ser donados y depositados si son tramitados por personal de la ECCD o la DPNG.

También especímenes históricos colectados por pescadores o guías de las islas Galápagos pueden ser donados y depositados si son tramitados por personal de la ECCD o la DPNG.

Cuando los especímenes ya están identificados ingresan a la Base de Datos de Colecciones de la FCD donde reciben un número de acceso (*accession number*) que permitirá hacer su búsqueda más rápida para trabajos posteriores.

Cualquier persona que desee ingresar especímenes al museo debe adjuntar la información de respaldo en formato electrónico y en la etiqueta (tabla 18-2).

La persona encargada del museo recibirá los organismos secos o en alcohol, examinará el estado y condición de los especímenes y llenará el formulario en el cuaderno de ingreso y en la base de datos de ingresos con los datos entregados. Se sellará la boca de los frascos o se colocará en cajas.

En caso de depósitos anónimos, se ingresará el espécimen después de 3 meses de haber sido encontrado, si antes no aparece el depositante para reclamarlo.

Las muestras secas, para ser ingresadas al museo, deben estar en cajas curadas, etiquetadas e identificadas hasta el mayor nivel taxonómico posible.

Cada grupo que se encuentra en las colecciones marinas tiene un formato para su etiqueta. Esto depende de las necesidades de información de cada grupo. Las etiquetas son impresas con tinta y en el papel apropiado.

Cada frasco de vidrio que contiene especímenes en solución de alcohol debe estar etiquetado adecuadamente y lleno con alcohol al 75%. El nivel de alcohol dentro de los frascos de vidrio debe cubrir totalmente los especímenes o llenarlo en su totalidad. La boca del frasco debe estar sellada con parafilm, adecuado para evitar la evaporación.



Gelidium Hancockii (Imagen: CC-FCD)

Tabla 18-2: Información requerida para entregar especímenes en el museo.

	Información requerida	Ejemplo
1	Nombre del proyecto:	ECOM (Monitorio Ecológico Sub Mareal)
2	Fecha de colección:	02-agosto-2013
3	Colector (es):	Calderón, R.
4	Código del colector, si lo tiene:	FE02-RC
5	Localidad:	Fernandina, Punta Priscila
6	Coordenadas:	S 00° 45' 8.59"/ W 90° 20 ' 32.65"
7	Hora:	10:20 a.m.
8	Profundidad:	-1 m
9	Expedición:	Zooplancton
10	Métodos de colección:	Arrastre horizontal, <i>Scuba</i>
11	Identificación, si lo sabe:	Brachyuro
12	Tratamientos a los que sometió a los especímenes antes de ingresarlos a la colección:	Formalina al 5 o 10%, etanol al 75%.

Revisión de los especímenes del museo

Cualquier persona que desee revisar especímenes del museo puede hacerlo previa autorización del curador o de su asistente. La revisión debe hacerse dentro del museo y siempre acompañado por alguna de las personas a cargo de la colección. Para examinar los especímenes bajo el microscopio se los puede sacar al laboratorio en caso de que no exista un sitio adecuado para ello dentro del museo. La manipulación de los especímenes se debe hacer con guantes para evitar su contaminación.

Existe un libro de registro de visitantes al museo que debe ser llenado cada vez que se hace uso de las colecciones. Dentro de la colección está totalmente prohibido fumar, comer o mover de sitio los especímenes. Se debe evitar toser o estornudar delante de los mismos. Tampoco se puede ingresar con maletas, mochilas o paquetes y se debe estar atento de cierta joyería o accesorios que podrían dañar involuntariamente a los especímenes.

Identificación de especies

El jefe de área de investigación delegará a un miembro del museo que se encargará de la identificación del espécimen hasta el más bajo nivel taxonómico posible. Para ello, debe constar un recibo numerado con copia y el formulario de identificación, para ser llenados y devueltos al jefe de área para su firma.

Cuando algún espécimen no pueda identificarse dentro del museo, el jefe de área puede solicitar su envío para que sea identificado por especialistas fuera del país. El director del área autorizará al curador del museo escribir al especialista. Una vez que exista una respuesta positiva del especialista se efectuará el traslado.

En todos los casos, se respetan los datos de colección y el nombre del colector que donó los especímenes.

La persona que necesite enviar especímenes a identificar por especialistas externos debe seguir el mismo procedimiento descrito anteriormente. El interesado escribirá una carta o email al curador solicitando el envío de especímenes para su identificación científica. Una vez que es autorizado, entregará al asistente del curador un catálogo con los datos de colección de los especímenes a enviar; los especímenes deberán estar debidamente montados y etiquetados en un frasco de vidrio con alcohol. El asistente del curador es la única persona responsable de llenar los formularios respectivos, de embalar, enviar los especímenes y llevar un registro de estos.

Procedimiento para la obtención del permiso de exportación de muestras

El permiso de exportación de muestras es autorizado por la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG). Para su obtención se deberá cumplir con el siguiente procedimiento:

- Llenar el formulario de exportación de muestras proporcionado por el asistente administrativo de ciencias.
- Entregar el formulario al personal de científicos visitantes, quienes llevarán el documento a las oficinas del Parque Nacional Galápagos (DPNG). Esta institución tiene la facultad de negar o aceptar la solicitud.
- El material a ser enviado deberá ser previamente certificado por el veterinario de la Fundación Charles Darwin (FCD) a fin de hacer constar que las muestras no implican ningún peligro para los seres humanos.
- En caso de ser aceptada la solicitud, la DPNG revisará y constatará las condiciones y cantidad de material que será enviado a colaboradores externos para la correspondiente identificación.

-
- Habiendo pasado el proceso de validación, se deberá enviar un juego (copias) con toda la documentación requerida a fin de que instituciones de control en Galápagos y Ecuador continental verifiquen que las muestras han cumplido con todos los parámetros para la salida del país de forma legal.
 - Igualmente, cuando los especímenes retornan a la colección, se debe informar en el formulario de préstamo, y una copia de este debe ser entregada al depositante. En la base de datos se deberá llenar el campo de 'devolución'.
-

Resumen de normas para el trabajo dentro del área de la colección

-
- Solo puede ingresar personal autorizado o con permiso del curador o asistente del curador.
 - Dentro de la colección, utilice siempre mandil, guantes quirúrgicos y mascarilla de gases.
 - Únicamente se debe botar en el basurero corto-punzante-clínico del laboratorio seco: agujas, vidrio, material cortante como (hojas de escalpelo o bisturí), jeringas, gasas contaminadas, guantes quirúrgicos, etc.
 - Está terminantemente prohibido comer y consumir bebidas dentro del museo.
 - Tras el uso de equipos o mesones de las instalaciones, es su responsabilidad: encargarse de lavar los equipos metálicos con agua dulce, y otros materiales (como plásticos o vidrio) con agua de la llave, detergente o jabón líquido; secar y, si el caso ameritara, desinfectarlos.
 - Si requiere el uso de equipos electrónicos informe su uso. Si desconoce el uso de algún equipo en particular, solicite ayuda.
 - Los congeladores son exclusivamente para el uso de material biológico de trabajo, al usarlos deberá dejar constancia en el registro del laboratorio (con el encargado). Las muestras respectivamente etiquetadas.
 - Si el científico desea guardar sus muestras en el congelador por largo tiempo, es necesario comunicar al curador del museo y registrarlo en el cuaderno del laboratorio.
 - Está prohibido verter o botar líquidos tóxicos (alcohol, formalina) por los desagües de los lavabos. Para hacerlo se deberá seguir paso a paso el protocolo para la eliminación adecuada de residuos usados.
 - Al finalizar el trabajo o el día debe dejar limpio y ordenado su espacio de trabajo e implementos que haya utilizado: luces y regletas apagadas, ventilador/aire acondicionado apagados, puertas y ventanas bien cerradas, instrumentos de trabajo en sus lugares correspondientes, y estéreos microscopios o microscopios apagados y cubiertos con sus respectivos protectores.
 - Si trabaja con muestras de olores nauseabundos, use el laboratorio húmedo al aire libre para que los olores se disipen y pueda continuar en el área interna con el procesamiento de la muestra.
 - Cada laboratorio cuenta con puntos de red que agilizaran su trabajo. Utilice los puntos de red internos de cada laboratorio cuando su trabajo se encuentre ligado a consultas en red, recuerde que otros usuarios podrían necesitarlo.
-

En caso de emergencia médica

En caso de cortes, abrasiones, quemaduras, o si ha ingerido accidentalmente algún producto químico o nocivo, se seguirán los siguientes pasos:

-
- Al accidentado se le proveerá primeros auxilios.
 - Simultáneamente, se contactará con el servicio médico.
 - Se avisará al responsable del laboratorio o director del departamento para confirmar lo ocurrido e indagar las razones del accidente.
 - El encargado entregará un informe al responsable directo de los laboratorios y a su vez se enviará una copia al responsable de la seguridad y logística del grupo de ciencias.
-

En caso de incendios controlables o incontenibles

- Mantenga siempre la calma y avise a los demás sobre lo ocurrido.
- Si el fuego es pequeño y se puede utilizar un extintor, úselo. Pero si el fuego es de proporciones considerables no se arriesgue, mantenga la calma y evacúe.
- Si debe evacuar del sector, apague todos los equipos electrónicos posibles que no estén cercanos a las llamas, y cierre bien todas las puertas y ventanas para evitar alimentar al fuego con oxígeno.
- Evacue la zona por la puerta más cercana y, en caso de ser necesario, puede romper el vidrio de la ventana más cercana. No corra, camine rápido, de ser posible, en fila india, tapándose el rostro con las manos o con alguna ropa (de preferencia, húmeda). Si es necesario, evacúe agachado para evitar respirar el humo tóxico. En caso de que su ropa se empiece a incendiar, no intente sacársela desesperadamente porque podría expandir más la llama; por el contrario, ruede en el piso hasta que la llama se apague por falta de oxígeno o, si alguna persona está cerca de suyo, llame su atención pidiéndole ayuda para extinguir el fuego de su ropa.
- No lleve consigo objetos que podrían dificultar su salida.

Tiburón tintorera, *Triaenodon obesus* (Imagen: R. Gallardo)



Hojas de datos de campo. (Imagen: S.Banks)

19

EL MANEJO DE DATOS



La colección y el manejo de datos involucran una serie de pasos bien definidos que deben ser implementados durante cada salida de campo y/o lugar investigado. Estos pasos incluyen:

- El registro de las observaciones en el campo.
- La codificación de datos.
- La revisión de la información durante y después del buceo, incluso con sus compañeros.
- La limpieza y preparación de los datos de modo que sean legibles como respaldo en su hoja de campo.
- El ingreso de los datos en forma digital por medio de una copia personal de la Base de Datos Submarina Remota.
- La revisión de los datos ingresados.
- Entrega al responsable del viaje de campo. Este tiene la responsabilidad de juntar los datos en una base de datos central con copias en hojas planas para su respaldo y análisis.



Aunque no suena como la parte más emocionante del monitoreo, es sin duda un ejercicio clave que asegura la validez y el éxito de todo el esfuerzo invertido y es una pieza clave y el fundamento para comparaciones válidas en el futuro.

Colección de la información durante los buceos

Arriba: Aunque el ritmo de trabajo de campo puede ser agotador, es importante asegurar la entrada de datos antes de finalizar cada viaje. (Imágenes: S.Banks y G.Feldman)

La colección de la información se realiza en hojas impermeables sobre tableros, tanto para sésiles como para peces. También se pueden usar tubos de PVC, colocados en el antebrazo con ligas de caucho, para invertebrados móviles si se prefiere.

Generalmente, cada especie ocupa una hilera dentro de la base de datos, mientras que en las columnas se registra la abundancia que puede estar separada en

columnas de acuerdo a las tallas, como es el caso de peces. Las columnas suelen estar divididas en secciones del transecto (T1, T2, T3 y T4) para el caso de peces, o número de cuadrantes (Q1- Q10) para sésiles y (B1-B20) para invertebrados móviles. En esta guía hay ejemplos de las hojas de campo en cada sección y los formatos en blanco están disponibles en los archivos del área marina de la FCD en formato digital.

Este se debe de imprimir en ambos lados de las hojas en fotocopidora (no en una impresora de *inkjet*). El papel que se utiliza es especial para el agua (no solo resistente a lluvia) y normalmente comprado en EE.UU. La compañía *Rite in the Rain* tiene un producto llamado '*DuraCopy Waterproof laser paper*' que ofrece resmas de 100 hojas de A4 (#6512).

Una vez terminado el buceo, todos los integrantes del grupo deberán asegurarse que los nombres y números escritos sean legibles; además, deben colocar el código de las especies en el extremo izquierdo de la hoja. Posteriormente, cada integrante debe asegurarse de lavar y colocar las hojas en un lugar seguro. Se recomienda llevar un recipiente hermético y seguro para este propósito, con una carpeta para colocar las hojas usadas una vez que los datos estén ingresados en su copia de la base de datos.

Codificación de los datos

En cada hoja de campo deberá constar la siguiente información: localidad, sitio, fecha, tiempo de buceo, nombre del buzo y del equipo de buceo, temperatura, fuerza del oleaje, intensidad de la corriente, método empleado y los nombres de las especies o los códigos claramente descritos. Si el buzo está familiarizado con los códigos, puede abreviar los nombres de la mayoría de especies, incluyendo el nombre de la isla, del sitio, del buzo, del grupo monitoreado, etc.

Revisión de los datos

Las hojas deberán ser chequeadas por el investigador principal y por el buzo encargado para asegurarse de que no existan errores. Se debe confirmar la identificación de las especies registradas y discutir cualquier discrepancia en cuanto al rango de las especies, los tamaños (en caso de peces e invertebrados móviles) y las abundancias respectivas.

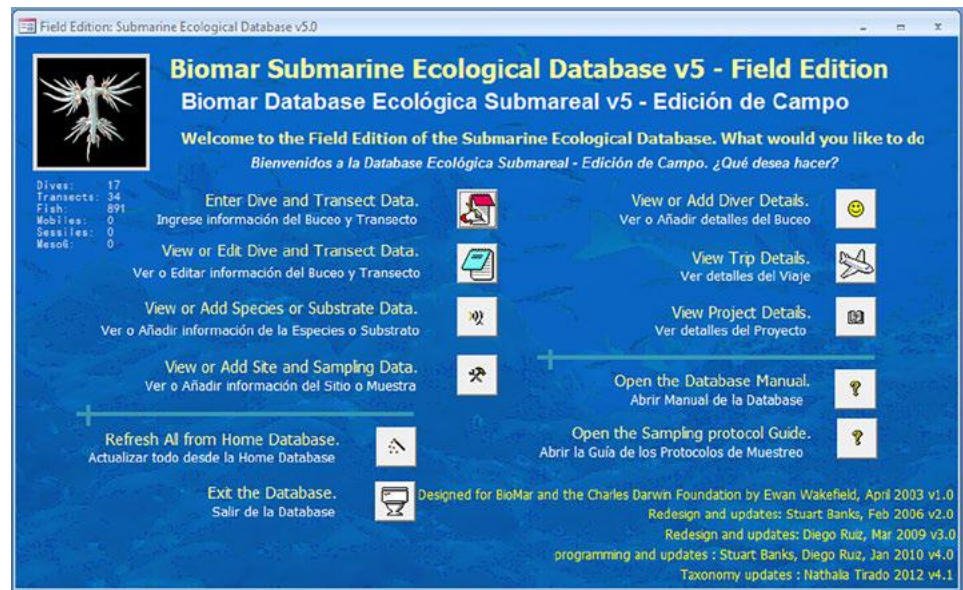
Almacenamiento

Posteriormente, las hojas deben ser lavadas, secadas y almacenadas en un lugar seguro hasta que los datos puedan ser ingresados a la computadora. Todos los datos originales, o una copia en papel original, quedarán guardados y archivados en el laboratorio.

Ingreso de datos

La información deberá ser ingresada en una base de datos de *MS access* con un formato similar al de las hojas de datos utilizadas bajo el agua. Desde el 2004, la FCD ha mantenido una base remota del campo diseñada para el ingreso de los datos submareales (figura 19-1). Además de estar vinculada con las tablas de sitios y especies, esto permite que se puedan detectar errores. Esta información de referencia está actualizada antes de cada salida de campo. La base remota tiene un manual asociado y normalmente los integrantes del viaje de monitoreo pasan por unas prácticas para estar familiarizados con su uso antes de las salidas de campo. Las hojas de datos son transformadas a un formato adecuado para su posterior análisis, y archivadas como tablas de Excel por cada grupo de monitoreo. Una vez que los datos han sido ingresados a la computadora, las hojas de *access* deben ser revisadas por cada uno de los buzos y comparadas con las hojas de datos para verificar que no existan errores.

Figura 19-1: La portada de la Base de Datos Ecológica Submareal Remota. La base de datos de campo fue diseñada para asegurar el ingreso de datos durante los viajes al campo de buceo y está vinculada con la base de especies y colecciones de la FCD.



Otras consideraciones

Para asegurar la calidad y consistencia de la recolección de información, durante, antes y después de la colección de datos, es aconsejable seguir los siguientes pasos:

- Escribir con letra legible en la hoja de campo la fecha, el sitio (nombre de la isla más cercana y de la localidad), el nombre del buzo y de los integrantes del equipo de monitoreo y, de ser posible, las coordenadas (GPS) si es un sitio nuevo.
- Asegurarse de colocar suficientes soportes elásticos en el tablero de campo para no perder las hojas bajo el agua y colocarlas en un lugar seguro después de la inmersión.
- Revisar la hoja de datos en la superficie inmediatamente después de la inmersión, para clarificar los nombres con las guías de campo y colocar los códigos correspondientes para cada una de las especies.
- Ingresar los datos a la computadora lo más pronto posible después de cada buceo, de lo contrario, será muy difícil recordar el nombre o la estructura de las especies no identificadas, nuevas o difíciles de recordar, y las características particulares del sitio monitoreado.
- Cuando termines de ingresar los datos, antes de poner tu película favorita en el DVD, ayuda a tus compañeros que tengan problemas ingresando sus datos. La cantidad de información levantada varía bastante entre tipos de monitoreo, y un apoyo para leer las hojas mientras se digitalizan los datos o arreglar un error en la base de datos, puede ayudar considerablemente e inclusive contribuir a estandarizar observaciones entre buzos.
- Una política que ha funcionado –y que fue necesaria en años anteriores para evitar problemas– es que todos los datos deben quedar ingresados antes de que la gente salga del barco.

Caballo de mar, *Hippocampus ingens*. (Imagen: R. Gallardo)





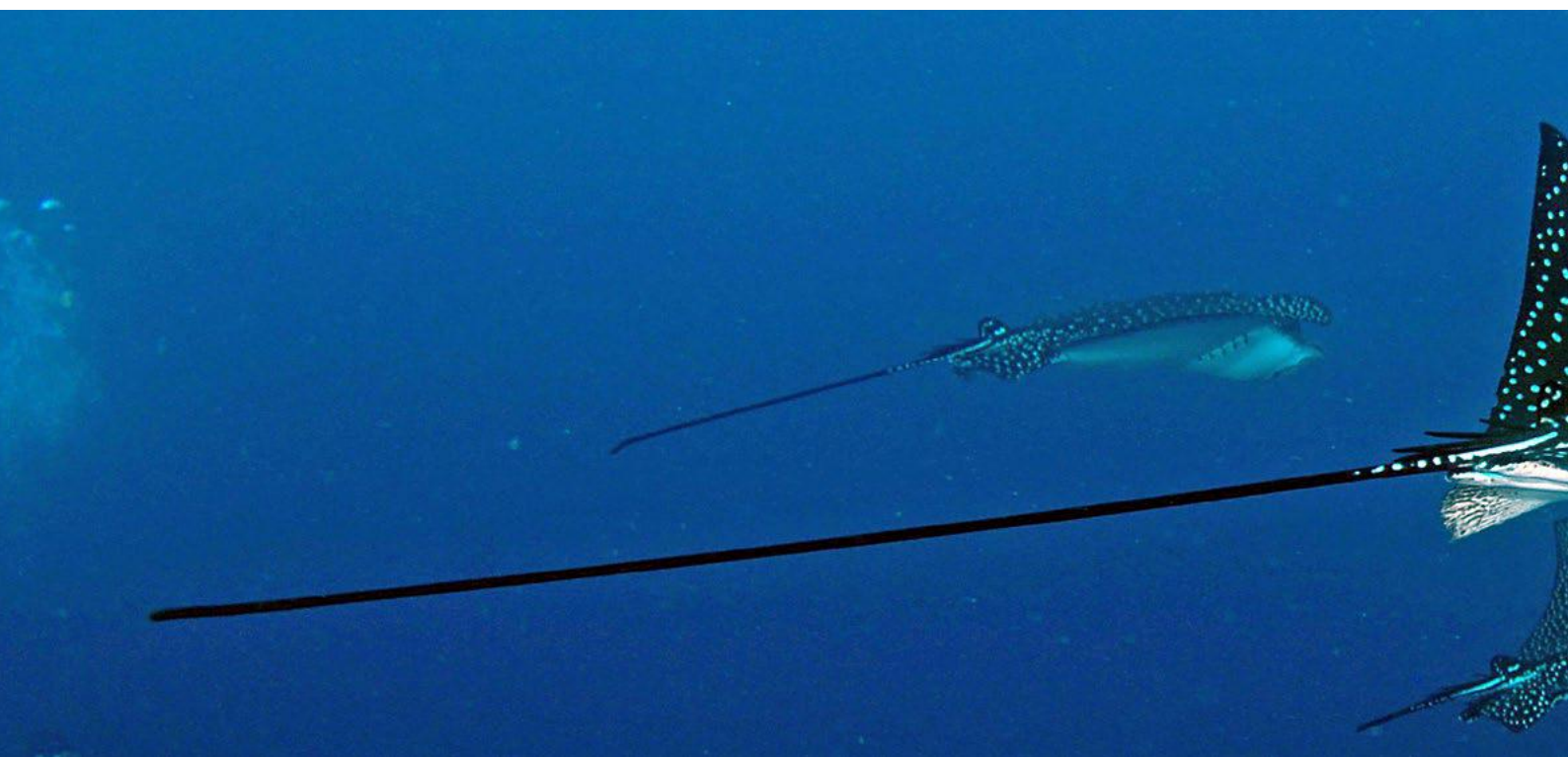
Raya Águila, *Aetobatus narinari* (Imagen: R. Gallardo)

LITERATURA CITADA

- Allen, G.R. and D.R. Robertson. 1994. Fishes of the Tropical Eastern Pacific. Crawford House Press, Bathurst, Australia. 332 pp.
- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata. 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnection. Journal of Geophysical Research - Oceans:pp. 81.
- Banks S.A, D. Wiedenfeld., & A.M Loose. 2003. (eds.). Ecological Monitoring in the Marine Reserve: An integrated approach. Charles Darwin Foundation, Santa Cruz, Galápagos. Aug 2003. 89 pp.
- Banks S.A, Vera M., Toscano M., Ruiz D. y Tirado N. 2006. Monitoreo ecológico de la zona costera para la evaluación de la zonificación provisional consensuada (ZPC). Resumen de actividades octubre 2004 – septiembre 2006. Informe de avances para USAID. Fundación Charles Darwin, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador. pp 1-34.
- Banks S.A. 2002. Ambiente físico. In: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad (Danulat E & GJ Edgar, eds.)pp 22-37. Fundación Charles Darwin–Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.
- Banks S.A. 2007. Estado de especies y hábitats marinos en Galápagos. En: Informe Galápagos 2006-2007. FCD, PNG & INGALA, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. 122-127.
- Banks S.A. 2007. Monitoreo Ecológico submareal de las subzonas de manejo costero, 2004-2006. En: Informe Galápagos 2006-2007. FCD, PNG & INGALA, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. 132-136.
- Banks S.A. 2010. Marine Management Area Science: Insights from Galapagos. Charles Darwin Foundation. Final Project report. 83pp.
- Banks S.A. 2011. A review of the influence and effectiveness of Galapagos Marine Reserve (GMR) zoning upon biodiversity, ecosystem function and longer term resource sustainability under climate variability. Charles Darwin Foundation. Final Project report: Development of technical criteria towards Galapagos long term Marine Managed Area planning 2010-2012. 30pp.
- Banks S.A., Bustamante R, Ruiz D, Tirado-Sanchez N, Vera M, & F.Smith. 2012. The power of long-term monitoring to understand mechanisms of ecosystem change: the case of the Galapagos Marine Reserve. In: Wolff & Gardner Eds. The Role of Science for Conservation. Routledge Press. 300pp.
- Banks S.A., Edgar G, Glynn P, Kuhn A, Moreno J, Ruiz D, Schuhbauer A, Tiernan JP, Tirado N & Vera M. 2011. A Review of Galapagos Marine Habitats and Ecological Processes under Climate Change Scenarios. In: Climate Change Vulnerability Assessment of the Galápagos Islands. 2011. Eds. I. Larrea and G. Di Carlo. WWF and Conservation International, USA
- Banks S.A., M. Vera & A. Chiriboga. 2009. Characterizing the last remaining reefs: establishing reference points to assess long term change in Galápagos zooxanthellate coral communities. Galapagos Research #66.
- Banks, S.A. 1999. The use of AVHRR data in determining sea surface temperature zonation and variability across the Galápagos Marine Reserve. University of Southampton.
- Banks, S.A. and M. Trueman. 2009. Galapagos and Climate Change: Final Technical Report from the Charles Darwin Foundation to CI and WWF Galapagos. Charles Darwin Foundation, Puerto Ayora.
- Barber, R. and F. Chavez. 1983. Biological consequences of El Niño. Science 222:1203-1210.
- Boehme, L., K. Kovacs, C. Lydersen, O. A. Nøst, M. Biuw, J.-B. Charrassin, F. Roquet, C. Guinet, M. Meredith, Nicholls, S. Thorpe, D. P. Costa, B. Block, M. Hammill, G. Stenson, M. Muelbert, M. N. Bester, J. Plötz, H. Bornemann, M. Hindell, S. Rintoul, P. Lovell, and M. A. Fedak. 2010. Biologging in the Global Ocean Observing System. in J. Hall, D. E. Harrison, and D. Stammer, editors. OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society" ESA Publication WPP-306, Venice, Italy.

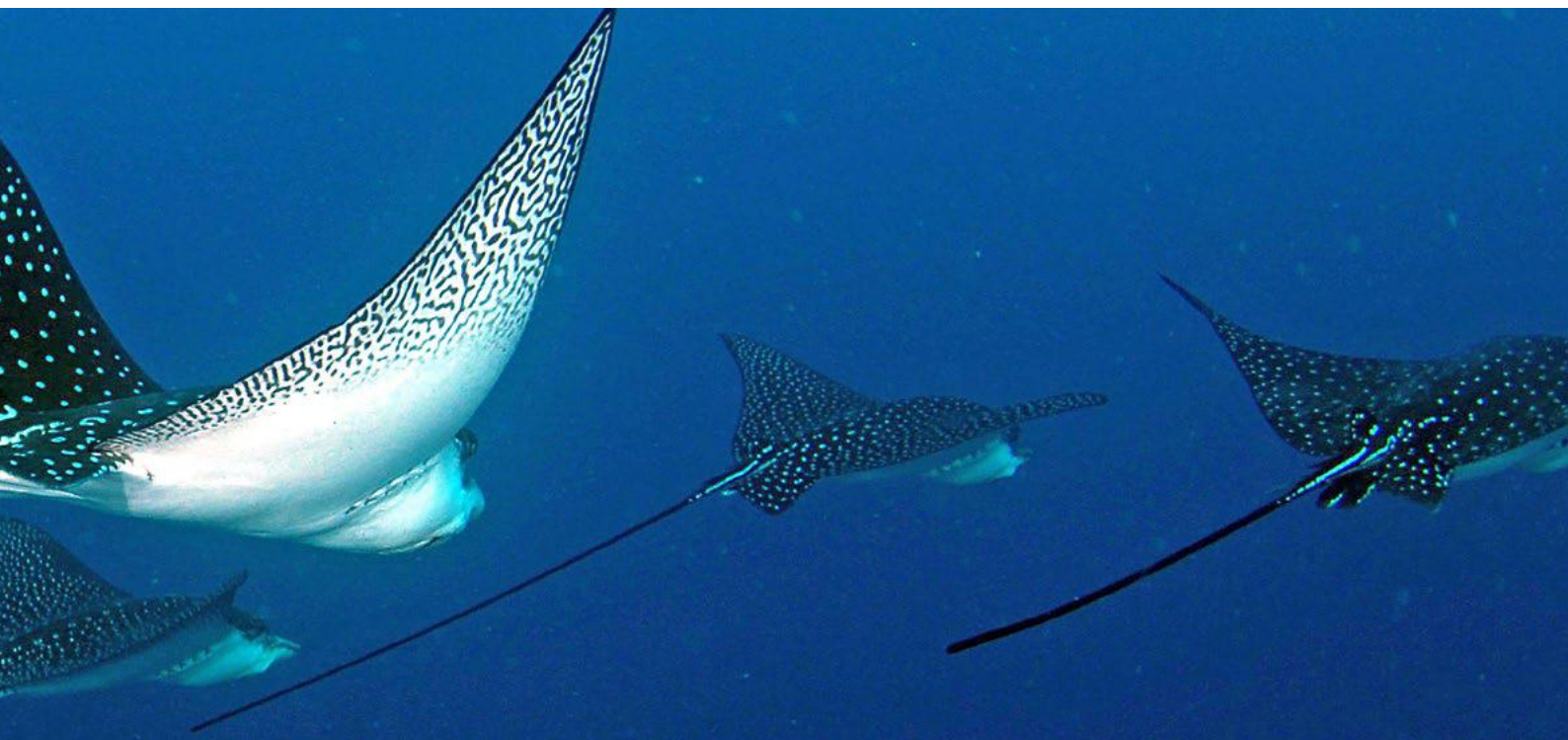
- Bustamante R.H., T.A. Okey & S.A. Banks. 2008. Biodiversity and foodweb structure of a Galapagos Shallow Rocky Reef Ecosystem. In: McClanahan, T.R., Branch, G.M. (editors). *Food Webs and the Dynamics of Marine Reefs*. Oxford University Press, NY, pp 135-161
- Bustamante, R. H., Vinuela, L. R., Smith, F., Banks, S., Calvopiña, M., Francisco, V., Chiriboga, A. & Harris, J. 2002. Comunidades Submareales Rocosas I: Organismos Sésiles y Mesoinvertebrados. En: *La Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad*, eds. Danulat, E. & Edgar, G. (Fundación Charles Darwin/ Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador), pp. 38-67.
- Carpenter K.E., S R. Livingstone, M Abrar, G Aeby, R B. Aronson, S.A. Banks, A Bruckner, A Chiriboga, J Cortés, J. C Delbeek, L DeVantier, G Edgar, A J. Edwards, D Fenner, H M. Guzman, B W. Hoeksema, G Hodgson, O Johan, W Y. Licuanan, E R. Lovell, J A. Moore, D O. Obura, D Ochavillo, B A. Polidoro, W F. Precht, M C. Quibilan, C Reboton, Z T. Richards, A D. Rogers, J Sanciangco, A Sheppard, C Sheppard, J Smith, S Stuart, E Turak, J Veron, C Wallace, E Weil, & E Wood. 2008. One third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impact. *Science*. May 2008
- Castrejón M, Charles A (2013) Improving fisheries co-management through ecosystem-based spatial management: The Galapagos Marine Reserve. *Marine Policy* 38: 235-245.
- Danulat, E. & Edgar, G. (2002) *Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad*, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador).
- Edgar G.J., R.D. Stuart-Smith, T. Willis, S. Kininmonth, S. Baker, S.A. Banks, N. Barrett, M. Becerro, A. Bernard, J. Berkhout, C. Buxton, S. Campbell, A. Cooper, M. Davey, S. Edgar, G. Forsterra, D. Galvan, A. Irigoyen, D. Kushner, R. Moura, E. Parnell, N. Shears, G. Soler, E. Strain & Russell & J. Thomson. 2014. Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature*. doi:10.1038/nature13022 13th February 2014.
- Edgar, G., S.A. Banks, J. Fariña, M. Calvopiña, and C. Martinez. 2004. Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galapagos archipelago. *Journal of Biogeography (J. Biogeogr.)* 31:1107-1124.
- Edgar, G., S.A. Banks, M. Brandt, R. Bustamante, A. Chiriboga, S. Earle, L. Garske, P. Glynn, J. Grove, and S. Henderson. 2009. El Niño, grazers and fisheries interact to greatly elevate extinction risk for Galapagos marine species. *Global Change Biology* DOI 10.1111/j.1365-2486.2009.02117.
- Edgar, G., S.A. Banks, R. Bensted-Smith, M. Calvopiña, A. Chiriboga, L. Garske, S. Henderson, K. Miller, S. Salazar, and W. Foundation. 2008. Conservation of threatened species in the Galapagos Marine Reserve through identification and protection of marine Key Biodiversity Areas. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18:955-968.
- Foster M.S, Harrold C., Hardin D. 1991. Point vs photoquadrat estimates of the cover of sessile marine organisms. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 146:193-203
- Glynn, P.W. 1990. Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical Eastern Pacific. In *Global ecological consequences of the 1982-83 El-Niño-Southern Oscillation* (ed. P.W. Glynn). Elsevier Press, Amsterdam.
- Graham M, B. Kinlan, L. Druhl, L. Garske & S.A. Banks. 2007. Deep-water kelp refugia as potential hotspots of tropical marine diversity and productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 104 (42), 16576-16580
- Grenier C. 2010. Apertura Geográfica en Galápagos En Informe Galapagos 2009-2010. FCD, PNG & INGALA, Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. pp 121-129
- Grove, J.S. and R.L. Lavenberg. 1997. *The Fishes of the Galápagos Islands*. Stanford University Press, Stanford, USA. 937 pp.
- Harris, M.P. 1969. Breeding season of sea-birds in the Galapagos Islands. *J. Zool. (Lond)*, 159 145-165.
- Hickman C. 2008. A Field Guide to Corals and other Radiates of Galapagos. Galapagos Marine Life Series. Sugar Spring Press. Pp 162
- Houvenaghel, G. T. 1978. Oceanographic conditions in the Galápagos Archipelago and their relationship with life on the islands. Pages 181-200 in R. Boje and M. Tomczak, editors. *Upwelling ecosystems*. Springer-Verlag, New York.
- Houvenaghel, G. T. 1984. Oceanographic setting of the Galápagos Islands. Pages 43-54 in R. Perry, editor. *Galápagos*. Pergamon Press, Oxford.
- Humann, P. 1993. *Reef Fish Identification: Galápagos*. New World Publishers, Jacksonville, USA. 192 pp.
- Jennings, S., A.S. Brierley & J.W. Walker. 1994. The inshore fish assemblages of the Galapagos Archipelago. *Biol. Conserv.* 70:49-57.
- Jiménez G, García C, Baque J y Delgado J. 2013. Especies, comunidades y ecosistemas: El rol de la ciencia para el manejo y la conservación de la Reserva Marina de Galápagos. Pp. 123-131. En: Informe Galapagos 2011-2012. DPNG, CGREG, FCD y GC. Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador.
- Kessler, W. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* 69:181-217.
- Kuhn, A., and V. Koch. 2011. Post-Tsunami Evaluation in the Galapagos Archipelago: Japan 11-03-11. Technical Report Charles Darwin Foundation, Puerto Ayora, Galapagos.

- Kutsuwada, K., and M. J. McPhaden. 2002. Intraseasonal variations in the upper equatorial Pacific ocean prior to and during the 1997-98 El Niño. *Journal of Physical Oceanography* 32.
- Leonard G.H & Clark R. 1993. Point quadrat versus video transect estimates of the cover of benthic red algae. *Mar Ecol. Prog. Ser.* Vol. 101: 203-208
- Luna S, S Banks, V Koch, D Ruiz, N Tirado, M Vera, A Schuhbauer, I Keith, D Acuña, J Suárez, M Parra, G Jiménez, C García, J Baque and J Delgado. 2013. Species, communities and ecosystems: The role of science in the conservation and management of the Galapagos Marine Reserve. Pp. 131-135. In: Galapagos Report 2011-2012. GNPS, GCREG, CDF and GC. Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador.
- Lynett, P., R. Weiss, and W. Renteria. in prep. Investigación de Campo de los Efectos del Tsunami de Japón Marzo 2011, en las Islas Galápagos. Texas A&M University, Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Margolius, R.A. y Salafsky, N. (1998). *Measures of Success: designing, managing, and monitoring conservation and development projects*. Island Press, Washington, DC, EEUU.
- Mora C, Aburto-Oropeza O, Ayala Bocos A, Ayotte PM, Banks S.A., et al. 2011. Global Human Footprint on the Linkage between Biodiversity and Ecosystem Functioning in Reef Fishes. *PLoS Biol* 9(4): e1000606. doi:10.1371/journal.pbio.1000606
- Obregon P. 2016. Recomendaciones de Ordenamiento Espacial Marino de la RMG. Informe CI-Galapagos. 26 pp.
- Okey T.A, S.A. Banks, A.F. Born et al. 2004. A trophic model of a Galápagos subtidal rocky reef for evaluating fisheries and conservation strategies. *Ecological modelling (INCO-DC Special Edition)*. 172, 383-401
- Peñaherrera-Palma, C. Harpp, K. & Banks, S. (2013) Rapid seafloor mapping of the northern Galapagos islands, Darwin and Wolf. *Galapagos Research* 68.
- Pépolas R. y Keith I. 2013. Manual de Seguridad de Buceo. Fundación Charles Darwin. Protocolo Interno. 37pp
- Philander, S. 1990. *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*. Academic Press Inc, San Diego, California.
- Pomeroy R.S., Parks J.E. & Watson L.M. 2004. How is your MPA doing?: A guidebook of natural and Social Indicators for Evaluating Marine Protected Area Management Effectiveness. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge UK. xvi + 216 pp.
- Preskitt, L.B., Vroom, P.S. and C.M. Smith. 2004. A Rapid Ecological Assessment (REA) Quantitative Survey Method for Benthic Algae Using Photoquadrants with *Scuba*. *Pacific Science*. University of Hawai Press. Vol. 58. No.2:201-209. <http://muse.jhu.edu>
- Ruttenberg, B. I. 2001, Effects of artisanal fishing on marine communities in the Galápagos Islands. *Conservation Biology* 15, 1691-1699.
- Schaeffer B. A., J M. Morrison, D Kamykowski, G C. Feldman, L Xie, Y Liu, W Sweet, A McCulloch, & S.A Banks. 2008. Phytoplankton biomass distribution and identification of productive habitats within the Galapagos Marine Reserve by MODIS, a surface acquisition system, and in situ measurements. *Remote Sensing of Environment* 112 (6): 3044-3054.



- Smith, F. and J.D. Witman. 1999. Species diversity in subtidal landscapes: maintenance by physical processes and larval recruitment. *Ecology*. No. 80:51-69
- Steger, J. M., C. A. Collins, and P. C. Chu. 1998. Circulation in the Archipelago de Colón (Galápagos Islands). *Deep-Sea Research II* 45:1093-1114.
- Sweet W.V., Morrison J., Liu Y, Kamykowski D., Schaeffer B., Xie L.. & Banks S. 2009. Tropical instability wave interactions within the Galapagos Archipelago. *Deep-Sea Research Part I*. Vol 56,8: 1217-1229.
- Sweet, W. V., J. M. Morrison, S. Banks, D. Kamykowskia, and B. A. Schaeffer. 2007. Water Mass Seasonal Variability in the Galápagos Archipelago. *Deep-Sea Research I* 54:2023-2035.
- Tapia, W., P. Ospina, D. Quiroga, J. A. González, C. Montes, and (editores). 2009. *Ciencia para la sostenibilidad en Galápagos: el papel de la investigación científica y tecnológica en el pasado, presente y futuro del archipiélago*, Quito.
- Vera M. & S.A. Banks. 2009. Health status of the coralline communities of the northern Islands; Darwin, Wolf and Marchena of the Galápagos Archipelago. *Galapagos Research* #66.
- Vinueza, L. R., Branch, G. M., Branch, M. L. & Bustamante, R. H. 2006. Top-down herbivory and bottom-up El Niño effects on Galápagos Rocky-Shore communities. *Ecological Monographs* 76, 111-131.
- Wellington, G. 1975. *The Galapagos Coastal Marine Environments: A resource report to the Department of National Parks and Wildlife*, Quito.
- Witman, J., Steller, D. and J. Coyer. 1999. *A Guide to Methods in Underwater Research: The Underwater Catalog*. Shoals Marine Laboratory, Cornell University, Ithaca, New York.
- Witman, J.D. & F. Smith Rapid community change at a site in the Galapagos Marine Reserve. *Biodiversity and Conservation* 12: 25-45, 2003.
- Witman, J.D. 1985. Refuges, biological disturbance and rocky subtidal community structure in New England. *Ecological Monographs*. No.55:421-445.
- Wyrтки, K. 1966. Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 4:33-68.
- Wyrтки, K. 1981. An estimate of equatorial upwelling in the Pacific. *Journal of Physical Oceanography* 11:1205-1215.
- Wyrтки, K. 1985a. Pacific-wide sea level fluctuation during the 1982-83 El Nino. Pages 29-48 in G. Robinson and E. M. d. Pino, editors. *El Nino in the Galapagos Island: The 1982-1983 event*. Charles Darwin Foundation for the Galapagos Islands, Quito - Ecuador.
- Wyrтки, K. 1985b. Water Displacements in the Pacific and the Genesis of El Niño Cycles. *Journal of Geophysical Research* 90:7129-7132.
- Yu, X., and M. McPhaden. 1999. Seasonal variability in the equatorial Pacific. *Journal of Physical Oceanography*.

Raya Águila, *Aetobatus narinari* (Imagen: R. Gallardo)



Puerto Ayora - Santa Cruz - Galápagos - Ecuador (imagen: R. Gallardo)



