



Comunidad de octocorales gorgonáceos del arrecife de coral de Varadero en el Caribe colombiano: diversidad y distribución espacial

Gorgonian octocoral community at Varadero coral reef in the Colombian Caribbean: diversity and spatial distribution

Nelson Manrique-Rodríguez¹, Claudia Agudelo² y Adolfo Sanjuan-Muñoz^{2,3}

0000-0003-4001-7838

0000-0002-4786-862X

¹ Okeanos Asesoría Ambiental S.A.S. Carrera 3 # 1-14 Bello Horizonte. Santa Marta, Magdalena, Colombia. nelson.manrique@okeanosambiental.com

² Sanjuan y Asociados Ltda. Calle 17 # 4-50 El Rodadero. Santa Marta, Magdalena, Colombia. claudtg@hotmail.com

³ Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Carrera 2 # 11 – 68 El Rodadero. Santa Marta, Magdalena, Colombia. adolfo.sanjuan@utadeo.edu.co

RESUMEN

El arrecife de Varadero tiene características ecológicas únicas y enfrenta el riesgo de desaparecer debido al eventual dragado de un canal de acceso, que se construiría para el ingreso de grandes embarcaciones al puerto de Cartagena (Colombia). En este ecosistema, la comunidad bentónica sésil, como los octocorales gorgonáceos y la fauna asociada, se vería seriamente afectada. Se examinó la diversidad y la distribución espacial de gorgonáceos de siete sitios ubicados en el área de arrecifes mixtos. Estos organismos se encontraron en el área de estudio a profundidades entre 6 y 10 m. La riqueza de especies de gorgonáceos fue menor que la registrada en otras áreas del Caribe. Los bajos valores de abundancia y riqueza de especies pueden obedecer a las características del relieve arrecifal y a los procesos de alta sedimentación que existen en la bahía de Cartagena.

PALABRAS CLAVE: Gorgonáceos, Composición, Varadero, Caribe colombiano.

ABSTRACT

Varadero reef has unique ecological characteristics and faces the risk of disappearing because of the dredging for an access channel of large vessels to the Cartagena port in Colombia. In this ecosystem, the sessile benthic community, such as gorgonian octocorals and associated fauna, will be impacted. We examined the diversity and spatial distribution of gorgonians from seven sites located in the mixed coral reef zone. These organisms are generally found in depths between 6 and 10 m in the area. The richness of the gorgonians species is lower than that recorded in other areas of the Caribbean. The low values of abundance and richness species are due to the characteristics of reef setoff and sedimentation processes existing in Cartagena bay.

KEY WORDS: Gorgonians, Composition, Varadero, Colombian Caribbean.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral están atravesando una crisis global debido a los impactos naturales y humanos (Wilkinson, 2008). Se estima que los arrecifes saludables brindan beneficios de hasta US \$ 375 mil millones anuales, generados a través de una gama de servicios, que incluyen el turismo, la pesca y las industrias extractivas (Cote y Reynolds, 2006). Esto es particularmente significativo cuando dos tercios de todos los países con arrecifes de coral se encuentran en vía de desarrollo, de los cuales, una cuarta parte está entre los menos desarrollados (Erftemeijer *et al.*, 2012). Los arrecifes del Caribe se han visto particularmente afectados, ya que la cobertura de coral se redujo de 50% a 10% en cuatro décadas, lo que resultó en un cambio de fase de dominancia de corales a macroalgas con un aumento simultáneo en la abundancia de esponjas (Jackson *et al.*, 2014). Por ejemplo, la bahía de Cartagena en Colombia ha sido sometida desde el siglo XV a una perturbación continua de las entradas de agua dulce y sedimentos del Canal del Dique, un canal excavado por los españoles para conectar la bahía con el río Magdalena, que es la principal ruta fluvial utilizada desde la colonia a la fecha para el comercio con las regiones interiores andinas. Este canal generó cambios sustanciales en la calidad del agua, causando una alta turbidez y sedimentación, transformando la Bahía en un sistema eutrófico y causando una gran pérdida de cobertura de coral en el área y otros lugares cercanos como las islas del Rosario (López-Victoria *et al.*, 2015). Las pocas formaciones de coral que se ubicaron en el área han sufrido el dragado continuo y el tráfico de grandes embarcaciones comerciales (Wade, 2016; Pizarro *et al.*, 2017).

Cartagena tiene uno de los sistemas de transporte marítimo más concurridos en el sur del Caribe, originando un importante desarrollo económico en la región y en el país, con diferentes actividades productivas como turismo, tráfico portuario y desarrollo industrial. Su crecimiento ha motivado a las autoridades portuarias a proponer la construcción de un nuevo canal de acceso para grandes embarcaciones (por ejemplo, Neopanamax) justo al lado de la entrada actual de Bocachica, a lo largo de las aguas someras del área conocida como Varadero, ubicadas entre la isla Abanico y el norte de la isla Barú. Ese canal otorgará ventajas competitivas al área portuaria de la ciudad. Paradójicamente, durante los estudios de impacto ambiental para el canal, se descubrió que debajo de una capa de aguas turbias, Varadero tiene una floreciente formación de coral con hasta 80% de la cobertura de coral vivo, dominada por colonias grandes y de larga vida de *Orbicella* spp., los principales corales arrecifales del Caribe. Ese proyecto involucra el dragado de un canal

INTRODUCTION

Coral reefs are enduring a global crisis due to natural and human impacts (Wilkinson, 2008). Healthy coral reefs are estimated to provide benefits of up to US\$375 billion on an annual basis, generated through a range of services, including tourism, fisheries, and extractive industries (Cote and Reynolds, 2006). This is particularly significant when two thirds of all countries with coral reefs are developing, of which, one quarter are between the less developed (Erftemeijer *et al.*, 2012). Caribbean reefs have been particularly impacted, with coral cover reducing from an average of 50 % to 10 % in four decades, resulting in a phase shift from coral to macroalgal domination with a concurrent increase in sponge abundance (Jackson *et al.*, 2014). For example, the bay of Cartagena in Colombia has been subject since the 15th century to a continuous disturbance from fresh water and sediment inputs from the Canal del Dique, a channel dug by the Spaniards to connect the bay with the Magdalena River, the main fluvial route used ever since the colonization for commerce with the Andean hinterlands. This channel generated substantial changes in water quality, causing high turbidity and sedimentation, transforming the bay in a eutrophic system and causing a high loss of coral cover in the area and other nearby locations such as the Rosario Islands (López-Victoria *et al.*, 2015). The few coral formations that were located in the area have suffered from the continuous dredging and the traffic of large commercial vessels (Wade, 2016; Pizarro *et al.*, 2017).

Cartagena has one of the busiest maritime transport systems in the southern Caribbean, originating an important economic development in the region as well as in the country, with different productive activities such as tourism, port traffic, and industrial development. Their growth has motivated the port authorities to suggest the construction of a new access channel for large (e.g. Neopanamax) vessels right beside the current Bocachica entrance, along the shallows known as Varadero, located between Abanico Island and the north of Barú Island. This channel will grant competitive advantages to the port area of the city. Paradoxically, during the environmental impact studies for the channel, it was discovered that beneath a layer of murky waters, Varadero holds a thriving coral formation with up to 80 % of living coral cover, dominated by large, long-lived colonies of *Orbicella* spp., the main reef-building corals in the Caribbean. This project involves the dredging of a canal right through the

que atraviesa el arrecife, afectando las formaciones de coral y sus organismos asociados (Pizarro *et al.*, 2017).

Entre los organismos marinos, los octocorales constituyen uno de los componentes vivos más notorios con gran importancia ecológica en el mar Caribe (Jackson, 1977). Tienen capacidad de modificar la estructura del sustrato y proporcionar hábitat para otros organismos como moluscos, esponjas, algas y otros epibiontes sésiles, así como sitios de asentamiento para peces (Bayer, 1961), lo que aumenta la diversidad local. En este estudio, se provee de una caracterización de los una caracterización de los gorgonáceos del arrecife Varadero, en términos de abundancia relativa, riqueza de especies y densidad, para tener una línea base del área que complemente otros estudios que se han llevado a cabo para otros organismos (Pizarro *et al.*, 2017), y analizar el posible impacto de las actividades realizadas en la construcción y dragado del nuevo canal de acceso en la estructura de la comunidad de gorgonáceos.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó entre mayo y julio de 2011 en las formaciones coralinas del área de Varadero, en Cartagena, Colombia (10° 18' 13" N", 75° 35' 19" W). El área está constituida por terrazas someras de piedra caliza en la laguna arrecifal y lechos de pastos marinos con corales pétreos intercalados y gorgonáceos, seguidos hacia el mar por un arrecife de coral compacto y bastante continuo desde 2 hasta aproximadamente 10 m de profundidad (Pizarro *et al.*, 2017). Se realizó una inspección preliminar en el arrecife, donde se seleccionaron y georeferenciaron siete estaciones con una presencia representativa de gorgonáceos (Figura 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajo de campo y laboratorio

El primer buceo se dedicó a la recolección de muestras y de fotografías que ayudaron en la identificación preliminar de las especies, seguido de siete inmersiones adicionales que se hicieron para realizar los análisis cuantitativos. En cada estación, se evaluó un transecto de banda de 50 × 2 m (100 m²) y todas las muestras de gorgonáceos se fotografiaron *in situ*. Se cortó un pequeño segmento de rama de 10 a 15 cm de las puntas distales de la colonia y se conservó en etanol a 95 %. Las especies se identificaron utilizando preparaciones de microscopio con portaobjetos para morfología de los escleritos, utilizando protocolos establecidos para la identificación de gorgonáceos (Bayer, 1961; Sánchez y Wirshing, 2005).

reef itself, seriously impacting the coral formations and their associated organisms (Pizarro *et al.*, 2017).

Among marine organisms, octocorals constitute one of the most notorious living components with great ecological importance in the Caribbean Sea (Jackson, 1977). They have the capacity to modify the structure of the substratum, and provide habitat for other organisms such as mollusks, sponges, algae and other sessile epibionts, as well as settlement sites for fish (Bayer, 1961), thus increasing the local diversity. In this study, we provide a characterization, we provide a characterization of gorgonians from the Varadero reef, in terms of relative abundance, species richness and density, in order to have a baseline of the area, which complements other studies that have been carried out for other organisms (Pizarro *et al.*, 2017), and analyze the possible impact of the activities carried out for the construction and dredging of the new access channel on the octocoral community structure.

STUDY AREA

The study was conducted from May to July 2011 on the coral reefs in the Varadero area, Cartagena, Colombia (10°18'13"N, 75°35'19"W). This area consists of shallow back reef lagoon limestone terraces and sea grass beds with interspersed stony corals and gorgonians, followed seaward by a compact, fairly continuous fringing coral reef from 2 to about 10 m in depth (Pizarro *et al.*, 2017). A preliminary inspection was carried out in the reef, where seven stations with a representative presence of gorgonians were selected and georeferenced (Figure 1).

MATERIALS AND METHODS

Field and laboratory work

The first scuba dive was dedicated to specimen collection and photography that helped in the preliminary species identification, followed by seven additional dives that were used to conduct the quantitative analyses. In each station, a band transect of 50 × 2 m (100 m²) was evaluated and all octocoral specimens were photographed *in situ*. A small branch segment of 10–15 cm was cut from the distal tips of branches, and preserved in 95 % ethanol. The species were identified using microscope slide preparations of sclerite morphology, using established protocols for octocoral identification (Bayer, 1961; Sánchez and Wirshing, 2005).

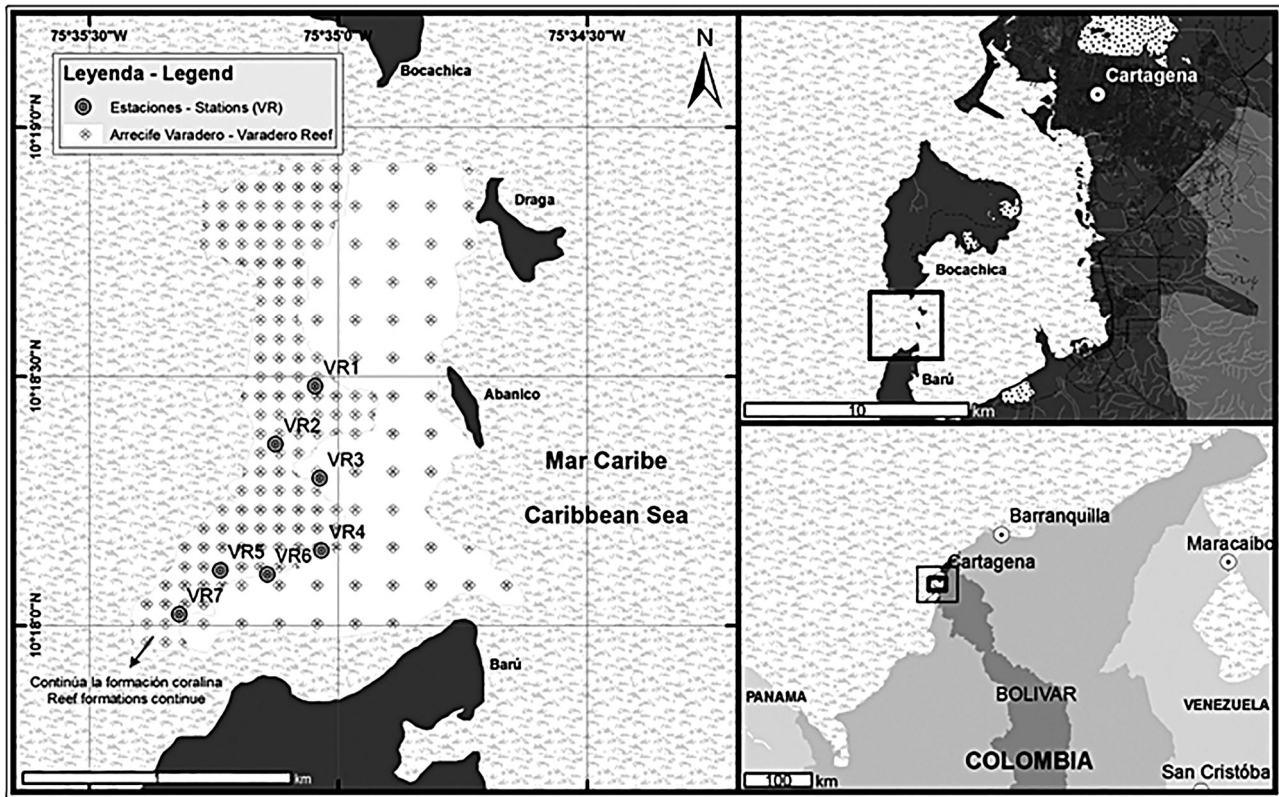


Figura 1. Área de estudio en el arrecife de Varadero, bahía de Cartagena.

Figure 1. Study area at Varadero reef, Cartagena bay.

Tratamiento de datos y análisis estadístico

En cada estación se calcularon la densidad (colonias \times m²), riqueza de especies y abundancia relativa (%) de cada especie. Los índices de riqueza de Margalef -D-, uniformidad de Pielou -J'-, diversidad de Shannon-Wiener -H'- y dominancia de Simpson - λ - fueron estimados utilizando el programa PRIMER 7 (Clarke y Gorley, 2015). Con los datos transformados (log (x +1)) se llevó a cabo un análisis de escalamiento no métrico multidimensional (nMDS) utilizando el coeficiente de similitud de Bray-Curtis y la técnica de ligamiento promedio (Clarke *et al.*, 2014). Se calculó la media aritmética con su respectivo error estándar.

RESULTADOS

Estructura de la comunidad

En el arrecife de Varadero se registraron 14 especies de gorgonáceos pertenecientes a cuatro familias (Briareidae, Anthothelidae, Plexauridae y Gorgoniidae). De las 10 especies registradas en los transectos, se contabilizaron 187 individuos. Las especies más abundantes fueron *Erythropodium caribaeorum* (12,33 \pm 2,60 colonias \times m²), *Briareum asbestinum* (12,4 \pm 3,92 colonias \times m²), *Plexaurella*

Data processing and statistical analysis

At each station, density (colonies \times m²), species richness and relative abundance (%) of each species were calculated. Margalef Richness D, Pielou Uniformity J', Shannon-Wiener Diversity H' and Simpson Predominance λ diversity measures were calculated. A station resemblance matrix was produced using the Bray-Curtis distance based on log (1+Y) transformed data, using PRIMER 7 software (Clarke and Gorley, 2015). With the transformed data (log (x +1)) a non-metric multidimensional scaling analysis was carried out, using the Bray-Curtis similarity coefficient and the average linkage technique (Clarke *et al.*, 2014). The arithmetic mean and its standard error was calculated.

RESULTS

Community structure

In the Varadero reef, 14 gorgonian species belonging to four families (Briareidae, Anthothelidae, Plexauridae and Gorgoniidae) were recorded. Of the 10 species found within transects, 187 individuals were counted. The most abundant species were *Erythropodium*

grisea ($4,75 \pm 1,55$ colonias \times m²) y *Eunicea touneforti* ($15 \pm 0,0$ colonias \times m²), que en conjunto constituyeron 91% de la abundancia (Tabla 1, Figuras 2 y 3). Otras especies como *Plexaurella nutans* y *Antillogorgia acerosa* registraron valores muy bajos ($3,5 \pm 1,3$ y $1,5 \pm 0,25$ colonias \times m² respectivamente). Cabe señalar que algunas especies de uso comercial (Figura 3E, ver Manrique *et al.*, 2007) en la región, como las plumas de mar del género *Antillogorgia* (*A. acerosa* y *A. bipinnata*), no excedieron 2,6 % de la abundancia relativa total. Además, ninguno de los gorgonáceos registrados en el presente estudio está incluido en la lista roja de especies amenazadas en Colombia (Ardila *et al.*, 2002).

A pesar de la baja riqueza de especies de gorgonáceos en el área, se observó que las estaciones VR1, VR4, VR6 y VR7 presentaron el mayor número de especies (Tabla 1). Estas estaciones se caracterizaron por la presencia de un paisaje de arrecifes de coral mixtos (*sensu* Díaz *et al.*, 2000), dominado principalmente por *Orbicella* spp. y de los corales *Agaricia tenuifolia* que se entremezclan con las colonias de coral de *Colpophyllia natans*, *Favia fragum*, *Helioseris cucullata*, *Isophyllia sinuosa*, *Pseudodiploria strigosa*, *Millepora complanata*, *Scolymia cubensis*, *Porites astreoides*, *Porites divaricata* y *Porites porites*. La abundancia y el valor medio

caribaeorum ($12,33 \pm 2,60$ colonias \times m²), *Briareum asbestinum* ($12,4 \pm 3,92$ colonias \times m²), *Plexaurella grisea* ($4,75 \pm 1,55$ colonias \times m²), and *Eunicea touneforti* ($15,00 \pm 0,00$ colonias \times m²), which together constituted 91% of the abundance (Table 1, Figures 2 and 3). Other species such as *Plexaurella nutans* and *Antillogorgia acerosa* showed very low values (3.5 ± 1.3 and 1.5 ± 0.25 colonias \times m² respectively). It should be noted that some species of commercial use (Figure 3E, see Manrique *et al.*, 2007) in the region, such as sea feathers of the genus *Antillogorgia* (*A. acerosa* and *A. bipinnata*), did not exceed 2.6 % of total relative abundance. Also, none of the gorgonians found in the present study are included in the red list of threatened species in Colombia (Ardila *et al.*, 2002).

Despite the low species richness of gorgonians for the area, it should be remarked that stations VR1, VR4, VR6, and VR7 had the highest number of species (Table 1). These stations are characterized by the presence of a mixed coral reef landscape (*sensu* Díaz *et al.*, 2000) dominated mainly by *Orbicella* spp. and *Agaricia tenuifolia* corals that intermingle with coral colonies of *Colpophyllia natans*, *Favia fragum*, *Helioseris cucullata*, *Isophyllia sinuosa*, *Pseudodiploria strigosa*, *Millepora complanata*, *Scolymia cubensis*, *Porites astreoides*, *Porites*

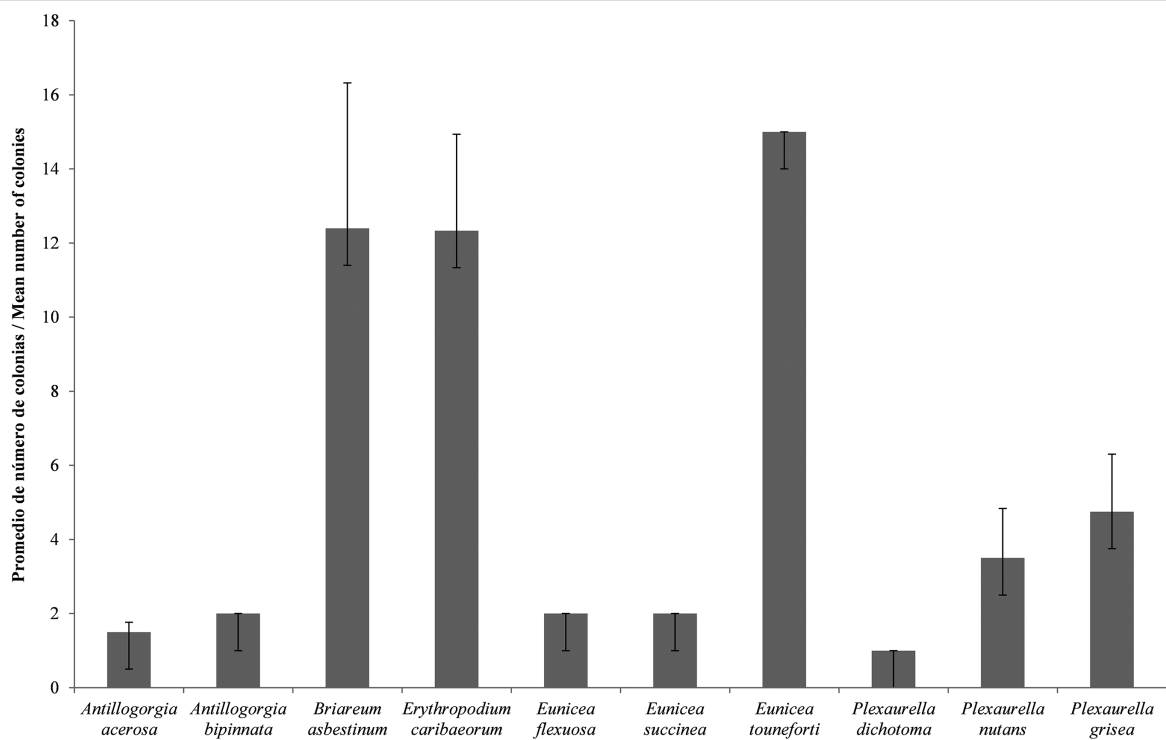


Figura 2. Promedio (± 1 error estándar) de número de colonias de cada especie de gorgonáceo registrada en el arrecife de Varadero.

Figure 2. Overall mean (± 1 standard error) number of colonies of each gorgonian species found at Varadero reef.

Tabla 1. Estructura de los gorgonáceos en las estaciones del arrecife de Varadero (VR). Número de colonias (n), número promedio de colonias (± 1 error estándar), densidad (colonias m⁻²) y abundancia relativa (%). * Especies registradas en una sola estación. ** Especies registradas fuera de las estaciones de muestreo y no incluidas en el análisis de la estructura de la comunidad. + Especies de importancia económica.

Familia/Family	Especie/Species	Nombre común/Common Name	VR1	VR2	VR3	VR4	VR5	VR6	VR7	n	Promedio número de colonias/Mean number colonies	Densidad/Density (col. m ⁻²)	Abundancia Relativa/Relative Abundance (%)
Gorgoniidae	<i>Antilogorgia acerosa</i> +	Pluma de mar / Sea feather	1						2	3	1.5 \pm 0.3	0.01 \pm 0.01	1.60
	<i>Antilogorgia bipinnata</i> * +	Pluma de mar / Sea feather	2							2	2.0 \pm 0.0	0.02*	1.06
	<i>Antilogorgia americana</i> ** +	Pluma de mar / Sea feather		**						**	**	**	**
Briareidae	<i>Briareum asbestinum</i>	Coral salchicha / Sausage coral		26	15	17	3	1	62	62	12.4 \pm 3.9	0.12 \pm 0.04	33.20
	<i>Erythropodium caribaeorum</i>	Gorgonáceo incrustante / Encrusting gorgonian	7	19	3	13	11	21	74	74	12.3 \pm 2.6	0.12 \pm 0.02	39.60
Plexauridae	<i>Eunicea flexuosa</i> *	Coral candelabro / Candelabrum coral					2		2	2	2.0 \pm 0.0*	0.02*	1.10*
	<i>Eunicea laciniata</i> **	Coral candelabro / Candelabrum coral		**	**				**	**	**	**	**
	<i>Eunicea laxispica</i> **	Coral candelabro / Candelabrum coral		**					**	**	**	**	**
	<i>Eunicea succinea</i> *	Coral candelabro / Candelabrum coral					2		2	2	2.0 \pm 0.0	0.02*	1.10
	<i>Eunicea touneforti</i> *	Coral candelabro / Candelabrum coral	15						15	15	15.0 \pm 0.0	0.15*	8.02
	<i>Plexaurella dichotoma</i> *	Coral salchicha / Sausage coral				1			1	1	1.0 \pm 0.0	0.01*	0.53
Plexaurella	<i>Plexaurella grisea</i>	Coral salchicha / Sausage coral	1		10	6		2	19	19	4.75 \pm 1.5	0.04 \pm 0.02	10.16
	<i>Plexaurella nutans</i>	Coral salchicha / Sausage coral			6		1		7	7	3.5 \pm 1.3	0.03 \pm 0.02	3.74
	<i>Plexaurella homomalla</i> **	Coral candelabro / Candelabrum coral						**	**	**	**	**	**
Riqueza / richness	4	1	3	5	3	4	4	10					
TOTAL	25	19	28	36	36	17	26	187	5.64 \pm 1.7	0.3 \pm 0.16	100		
Promedio / mean	6.4 \pm 3.2	*	14.43 \pm 8.3	5.4 \pm 2.7	5.6 \pm 3.2	4.6 \pm 2.3	9.7 \pm 4.8	18.7 \pm 8.48					

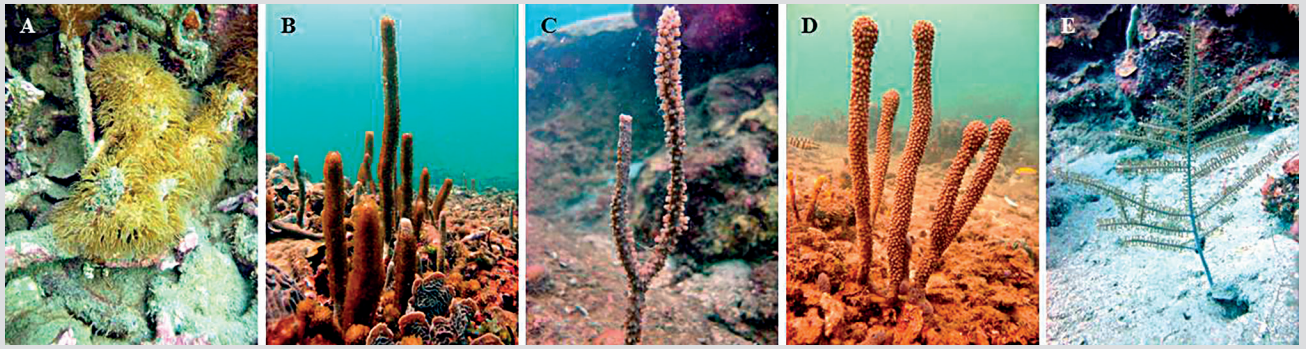


Figura 3. Algunas especies comunes y de importancia comercial de gorgonáceos registradas en el arrecife de Varadero. A. *Erythropodium caribaeorum*. B. *Briareum asbestinum*. C. *Plexaurella grisea*. D. *Eunicea touneforti*. E. *Antillogorgia acerosa*.

Figure 3. Some common and commercially important species of gorgonians found at Varadero reef. A. *Erythropodium caribaeorum*. B. *Briareum asbestinum*. C. *Plexaurella grisea*. D. *Eunicea touneforti*. E. *Antillogorgia acerosa*.

más alto se observaron en VR5 (36 individuos, $5,6 \pm 3,2$ colonias $\times m^{-2}$) y VR4 (36 individuos, $5,4 \pm 2,7$ colonias $\times m^{-2}$), mientras que los valores más bajos se registraron en VR6 (17 individuos, $4,6 \pm 2,3$ colonias $\times m^{-2}$). La densidad de colonias por especie mostró valores bajos y fluctuó entre $0,12 \pm 0,04$ colonias m^{-2} y $0,01 \pm 0,01$ colonias m^{-2} (Tabla 1).

Diversidad de especies

Los valores de diversidad fueron similares entre las siete estaciones. Sin embargo, la estación VR4 se destaca con el índice más alto de Shannon-Wiener ($H'_{\log_e} = 1,39$ nits), en congruencia con la uniformidad de Pielou ($J' = 0,86$), la cantidad de taxones ($S = 5$) y la riqueza de Margalef ($D = 1,11$). No obstante, el predominio de los taxones ($\lambda = 0,29$) indica una baja diversidad. La estación VR2 presentó una sola especie y la estación VR3 presentó los valores más bajos en el índice de Shannon-Wiener ($H'_{\log_e} = 0,31$ nits), así como la uniformidad más baja ($J' = 0,28$), que concuerda con las observaciones de campo, donde la abundancia y la riqueza son bajas en estas estaciones (Tabla 2).

Tabla 2. Índices ecológicos estimados de la comunidad de gorgonáceos en el arrecife de Varadero (VR). S: Riqueza de especies, N: número de colonias, D: Riqueza de Margalef, J': Uniformidad de Pielou, H': Diversidad de Shannon-Wiener y λ : Dominancia de Simpson.

Estaciones/ Stations	S	N	D	J'	H'(\log_e)	λ
VR1	4	25	0.93	0.72	0.99	0.45
VR2	1	19	0.00	0.00	0.00	1.00
VR3	3	28	0.60	0.28	0.31	0.86
VR4	5	36	1.11	0.86	1.39	0.29
VR5	3	36	0.56	0.93	1.02	0.38
VR6	4	17	1.06	0.73	1.01	0.47
VR7	4	26	0.92	0.50	0.69	0.67

divaricata, and *Porites porites*. The abundance and highest mean value was observed in VR5 (36 individuals, $5,6 \pm 3,2$) and VR4 (36 individuals, $5,4 \pm 2,7$), while the lowest values were found in VR6 (17 individuals, $4,6 \pm 2,3$). The density of colonies per species showed low values and fluctuated between 0.12 ± 0.04 colonies m^{-2} and 0.01 ± 0.01 colonies m^{-2} (Table 1).

Species diversity

Diversity values were similar among the seven stations. However, VR1 station stands out with the highest Shannon-Wiener index ($H'_{\log_e} = 1.39$ nits), in congruence with Pielou uniformity ($J' = 0.86$), the amount of taxa ($S = 4$) and Margalef richness ($D = 1.11$). However, the predominance of taxa ($\lambda = 0.57$) indicates a low diversity. The VR2 station presented a single species and the VR3 station presented the lowest values in the Shannon-Weiner index ($H'_{\log_e} = 0.31$ nits), as well as the lowest uniformity ($J' = 0.28$), which agrees with the field observations, where the abundance and richness are low in these stations (Table 2).

Table 2. Ecological indexes of the gorgonian community at Varadero reef (VR). S: Species richness, N: number of colonies, D: Margalef Richness, J': Pielou Uniformity, H': Shannon-Wiener Diversity and λ : Simpson Predominance.

Distribución espacial

El análisis nMDS (Figura 4) presentó dos grupos principales entre estaciones con un alto nivel de similitud. El primer grupo (G1) contiene las estaciones VR2 y VR7, que comparten los valores de densidad más altos de *Erythropodium caribaeorum*. El segundo grupo (G2) contiene las estaciones VR5 y VR6, que comparten valores similares en riqueza y número de individuos de las especies más abundantes (*E. caribaeorum*). Esto se explica porque *E. caribaeorum*, el único octocoral incrustante del Caribe y la especie más abundante del área, tiene una agregación clara entre las estaciones en las que se ha registrado, un comportamiento que ha sido similar para las otras especies principales registradas. Las otras estaciones están separadas de estos dos grupos por cambios en la riqueza y densidad de las especies, especialmente debido a la baja densidad de *E. caribaeorum* en las estaciones VR1 y VR4, así como a la ausencia de esta especie en la estación VR3.

Spatial distribution

nMDS analysis (Figure 4) showed two main groups between stations with a high-level of similarity. The first group (G1) contains stations VR2 and VR7, which share the highest density values of *Erythropodium caribaeorum*. The second group (G2) contains stations VR5 and VR6, which share similar values in richness and number of individuals of the most abundant species (*E. caribaeorum*). This is explained by *E. caribaeorum*, the only encrusting octocoral of the Caribbean, and the most abundant species of the area, has a clear aggregation between stations in which it has been recorded, a behavior that has been similar for the other main recorded species. The other stations are separated from these two groups by changes in species richness and density, especially due to the low density of *E. caribaeorum* in stations VR1 and VR4 as well as the absence of this species in station VR3.

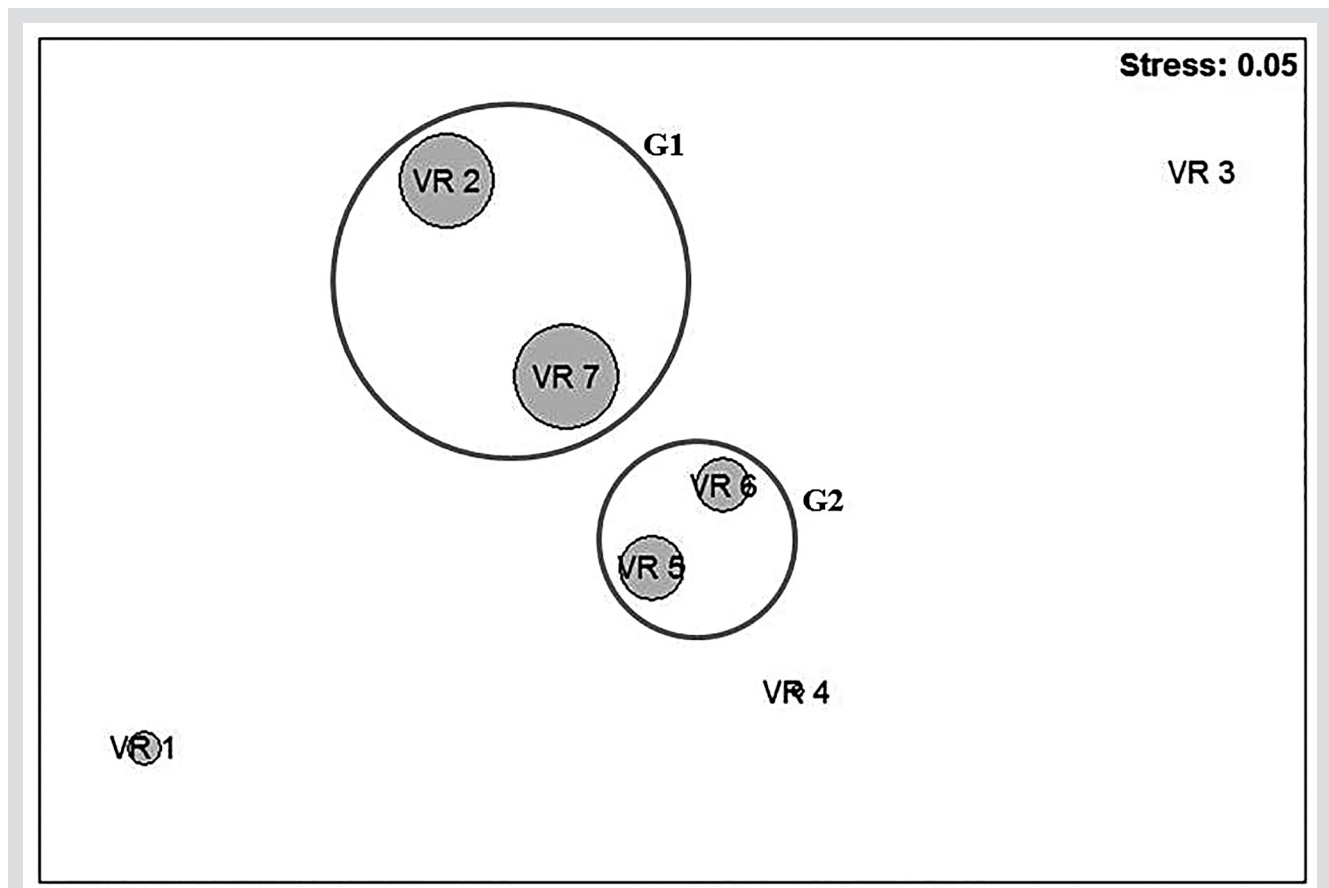


Figura 4. Gráfica 2-D del análisis de escalamiento multidimensional (MDS) basado en el índice de similitud de Bray-Curtis de las especies de gorgonáceos entre las estaciones. Similitud entre sitios con *Erythropodium caribaeorum* en el arrecife de Varadero, que muestra dos grupos basados en una similitud de 50% (círculos).

Figure 4. 2-D Multidimensional scaling analysis (MDS) plot based on Bray-Curtis similarity index of gorgonians species between the stations. Similarity between sites due to *Erythropodium caribaeorum* at Varadero Reef, depicting two groups based on 50% similarity (circles).

DISCUSIÓN

Los valores de abundancia y densidad de gorgonáceos registrados son bajos en comparación con otros estudios que duplicaron o triplicaron la riqueza de especies (entre 25 y 48 especies versus 14 especies registradas en el estudio actual) en el área de Cartagena y el mar Caribe (Lasker y Coffroth, 1983; Botero, 1987; Sánchez, 1992; Sánchez *et al.*, 1998; Alcolado *et al.*, 2008; Camargo *et al.*, 2008; Etnoyer *et al.*, 2010). Sin embargo, se debe tener en cuenta que esos otros estudios cubren áreas más extensas y se realizaron en una escala de tiempo más amplia utilizando diferentes técnicas de muestreo.

La baja abundancia y riqueza de las especies registradas en Varadero es probablemente causada por la alta sedimentación, producida por los vertimientos del Canal del Dique y las actividades marítimas, que son agentes importantes del declive de los corales, que controlan en gran medida la distribución y estructura de la comunidad de octocorales de aguas someras, efecto evidenciado en otras áreas del Caribe (Yoshioka y Yoshioka, 1989). Por lo tanto, aparte de la total remoción de una porción significativa del arrecife y su biota asociada con el nuevo canal acceso planeado, la resuspensión de sedimentos que se puede generar con el dragado podría causar un deterioro letal en la sobrevivencia de la comunidad de gorgonáceos. Otra presión antropogénica que puede estar afectando a los gorgonáceos locales es la extracción de las plumas de mar (por ejemplo, el género *Antillologorgia* Figura 3E) para su uso en la elaboración de artesanías y otros suvenires, que tienen una gran demanda en la región (Manrique *et al.*, 2007; Camargo *et al.*, 2008), y que se comercializan en la población vecina de Bocachica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo logístico y financiero de Hidrocaribe Ltda. en Cartagena. Un agradecimiento especial a la comunidad de Bocachica y Barú, a Johanna Vega, Oscar Martínez, José A. Ruiz, Carlos Gómez, Laura Muñoz y Claudia Giraldo.

DISCUSSION

Abundance values and density of gorgonians recorded for this study are low compared to other studies that doubled or tripled species richness (between 25 and 48 species versus 14 species recorded in current study) in the Cartagena area and Caribbean Sea (Lasker y Coffroth, 1983; Botero, 1987; Sánchez, 1992; Sánchez *et al.*, 1998; Alcolado *et al.*, 2008; Camargo *et al.*, 2008; Etnoyer *et al.*, 2010). However, it should be noted that those other studies cover more extensive areas and were done on a broader time scale using different sampling techniques.

The low abundance and richness of species found in Varadero is probably caused by high sedimentation, produced by the Canal del Dique and maritime activities, which are important agents of coral decline that largely control distribution and community structure of shallow-waters octocorals as it has been evidenced in other areas in the Caribbean (Yoshioka and Yoshioka, 1989). Therefore, apart from the total removal of a meaningful section of the reef framework and its accompanied biota for the new planned channel, sediment resuspension that can be generated with the dredging could cause lethal deterioration in the surviving octocoral community. Another anthropogenic pressure that may be affecting local gorgonians is the extraction of sea feathers (e.g. genus *Antillologorgia*) for their use in the elaboration of handicrafts (Figure 3E) and other souvenirs, which are in high demand in the region (Camargo *et al.*, 2008), and which are commercialized in the neighboring town of Bocachica.

ACKNOWLEDGMENTS

We appreciate the logistic and financial support of Hidrocaribe Ltd. at Cartagena. Special thanks to the community of Bocachica and Barú, to Johanna Vega, Oscar Martínez, José A. Ruiz, Carlos Gómez, Laura Muñoz and Claudia Giraldo.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Alcolado, P., P. García-Parrado y D. Hernández Muñoz. 2008. Estructura y composición de las comunidades de gorgonias de los arrecifes del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba: Conectividad y factores determinantes. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 37 (1): 11-29.
- Bayer F.M. 1961. The shallow-water Octocorallia of the West Indian region. A manual for marine biologists. *Stud. Fauna Curaçao Carib. Isl.*, 12: 1-373.
- Botero, L. 1987. Zonación de octocorales gorgonáceos en el área de Santa Marta y Parque Nacional Tayrona, costa Caribe colombiana. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 17: 61-80
- Camargo, C., J. H. Maldonado, E. Alvarado, R. Moreno-Sánchez, S. Mendoza, N. Manrique, A. Mogollón, J. D. Osorio, A. Grajales and J.A. Sánchez. 2008. Community involvement in management for maintaining coral reef resilience and biodiversity in southern Caribbean marine protected areas. *Biodiv. Cons.*, 18 (4): 935-956.
- Clarke, K.R. and R.N. Gorley. 2015. *PRIMER v7: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth. 300 p.
- Clarke, K.R., R.N. Gorley., P.J. Somerfield and R.M. Warwick. 2014. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 262 p.
- Erfteimeijer, P.L., B. Riegl, B.W. Hoeksema and P. A. Todd. 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: a review. *Mar. Poll. Bull.*, 64(9): 1737-1765.
- Etnoyer, P.J., J.A. Sánchez and H.H. Wirshing. 2010. Rapid assessment of octocoral diversity and habitat on Saba Bank, Netherlands Antilles. *PLoS ONE* 5(5): e10668. doi:10.1371/journal.pone.0010668.
- Jackson, J.B.C. 1977. Morphological strategies of sessile animals: 499-555. In: G. Larwood and B.R. Rosen (Eds.). *Biology and systematics of colonial organisms*. Academic Press, London. 589 p.
- Jackson, J.B.C., M.K. Donovan, K. L. Cramer and V.V. Lam. 2014. Status and trends of Caribbean coral reefs. *Global Coral Reef Monitoring Network*. IUCN, Gland, Switzerland. 306 p.
- Lasker, H.R. and M.A. Coffroth. 1983. Octocoral distributions at Carrie Bow Cay, Belize. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 13:21-28.
- López-Victoria, M., M. Rodríguez-Moreno and F.A. Zapata. 2015. A paradoxical reef from Varadero, Cartagena Bay, Colombia. *Coral Reefs*, 34(1): 231.
- Manrique-Rodríguez N., J.A. Sánchez, N.J. Cadena-Cepeda, S. Cáceres, V. Piñeros y M. Correa. 2007. Experimentos de cultivo del coral *Agaricia tenuifolia* y el octocoral *Pseudopterogorgia acerosa* como alternativa de uso sostenible en el Caribe colombiano. *Res. XII Congr. Latino-am. Cienc. Mar-XII COLACMAR*. 117-121 p.
- Pizarro, V., S.C. Rodríguez, M. López-Victoria, F.A. Zapata, S. Zea, C.T. Galindo-Martínez, R. Iglesias-Prieto, J. Pollock and M. Medina. 2017. Unraveling the structure and composition of Varadero Reef, an improbable and imperiled coral reef in the Colombian Caribbean. *PeerJ*, 5: e4119.
- Sánchez, J.A. 1992. Las comunidades del bajo arrecifal Imelda, Isla Barú, Caribe colombiano: 328-340. En: V. Estructura de la comunidad de gorgonáceos (Cnidaria: Octocorallia). *Mem. VIII Sem. Nal. Cienc. Tecn. Mar, Santa Marta*.
- Sánchez, J.A. and H.H. Wirshing. 2005. A field key to the identification of tropical western Atlantic zooxanthellate octocorals (Octocorallia: Cnidaria). *Carib. J. Sci.*, 41 (3): 508-522.
- Sánchez J.A., J.M. Díaz and S. Zea. 1998. Octocoral and black coral distribution patterns on the barrier reef-complex of Providencia island, Southwestern Caribbean. *Carib. J. Sci.*, 34 (3-4): 250-264.
- Yoshioka, P. and B. Yoshioka. 1989. Effects of wave energy, topographic relief and sediment transport on the distribution of shallow-water gorgonians of Puerto Rico. *Coral Reefs*, 8: 145-152.
- Wade L. 2016. An unhappy peace dividend. *Science*, 352: 129-130.

RECIBIDO / RECEIVED: 11/09/2018

ACEPTADO / ACCEPTED: 09/04/2019