

ARTÍCULO ORIGINAL

DISTRIBUCIÓN DE LOS HÁBITATS BENTÓNICOS DE LA LAGUNA DEL ARRECIFE ENMEDIO, SISTEMA ARRECIFAL LOBOS-TUXPAN, MÉXICO

Distribution of benthic habitats of the lagoon the Enmedio Reef, Lobos-Tuxpan, Reef System, Mexico

Vicencio de la Cruz-Francisco¹, Marlene González-González¹, Liliana Flores-Galicia¹

¹ Carrera de Biología Marina,
Facultad de Ciencias
Biológicas y Agropecuarias,
Campus Tuxpan.
Universidad Veracruzana.
Carr. Tuxpan-Tampico
Km 7.5, 92850, Tuxpan,
Veracruz, México.

* Autor para correspondencia:
delacruz17@hotmail.com

Recibido: 18.5.2016

Aceptado: 22.9.16

RESUMEN

La conservación de los arrecifes coralinos radica en el manejo adecuado de estos ecosistemas marinos, sin embargo es necesario dotar de información biológica para saber que se debe proteger, por lo tanto, disponer con descripciones de las comunidades coralinas contribuye en gran medida a formular estrategias de manejo eficaces. Bajo este contexto se describe la distribución de los hábitats bentónicos dominantes de la planicie del arrecife Enmedio. Durante el periodo noviembre 2014-abril 2016 se recabaron datos geográficos de los componentes bentónicos de la llanura arrecifal mediante buceo libre, esencialmente la información espacial se obtuvo a partir de registros fotográficos utilizando una cámara digital con receptor de posicionamiento global (GPS), con los datos recabados se generó un mapa temático mediante el método kriging simple. Las descripciones de los hábitats arrecifales se complementó con base al número de ensamblajes de especies principalmente de macroinvertebrados bentónicos y peces. Básicamente se diferencian ocho hábitats bentónicos en la planicie del arrecife Enmedio, fundamentalmente están constituidos por las especies *Acropora palmata*, *Millepora alcicornis*, *Orbicella annularis*, *Pseudodiploria clivosa*, *Porites furcata*, *Palythoa caribaeorum*, *Eunicea flexuosa* y por dos fondos bentónicos: cresta arrecifal y escombros. Los hábitats bentónicos: *O. annularis* y de *A. palmata* presentaron un mayor número de especies asociadas, mismas que comparten mayor semejanza en el ensamblaje de especies en comparación al resto de los componentes bentónicos. La distribución que manifiestan los componentes bentónicos con respecto a la cresta arrecifal es parecido al de otras regiones del Atlántico.

PALABRAS CLAVES: Interpolación, kriging, zonación, distribución, bentos

ABSTRACT

The conservation of the coral reefs lies in the proper management of these marine ecosystems, however it is necessary to provide biologi-

*cal information to know what we must protect. Therefore, in order to formulate effective management strategies, descriptions of coral communities are needed. Under this context, the distribution of dominant benthic habitats of the Enmedio reef's plateau is described. Geographical data of benthic components in the reef lagoon were recorded by free diving during the November 2014-April 2016 period. The spatial information was obtained essentially from photographic records using a digital camera with a receiver using global positioning system (GPS). A thematic map was generated with the data obtained through the simple kriging method. The descriptions of the reef landscapes were complemented by a number of species assemblage, consisting mainly of the benthic macroinvertebrates and fish. Eight benthic habitats in the plain of the Enmedio reef are differentiated and represented mainly by the species *Acropora palmata*, *Millepora alcornis*, *Orbicella annularis*, *Pseudodiploria clivosa*, *Porites furcata*, *Palythoa caribaeorum*, *Eunicea flexuosa* and two benthic funds: reef crest and debris. The areas of *O. annularis* and *A. palmata* are the most important reef landscapes because these species concentrated a greater number of associated species. These zones subsequently share greater similarity in the assemblage of species compared to other benthic components. The distribution of the benthic components is similar to other regions of the Atlantic.*

KEY WORDS: : Interpolation, kriging, zonation, distribution, benthos

INTRODUCCIÓN

La zonación arrecifal que muestran los arrecifes del Golfo de México han sido descritos en varios trabajos y coinciden que existen de manera general tres zonas: sotavento, planicie y barlovento (Jordán-Dahlgren, 1993; Chávez *et al.*, 2010), pero solo aplica para arrecifes de plataforma (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Estas zonas se distinguen por la profundidad, dinámica

del oleaje, así como en la diversidad y distribución de las comunidades bentónicas que tienden a ser más diversos en la ladera de sotavento, por ejemplo esponjas y corales muestran esta tendencia (Chávez *et al.*, 2010; Escobar-Vázquez y Chávez, 2012; De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a, b).

Actualmente se ha optado como alternativa generar mapas temáticos para explicar la distribución del bentos en arrecifes coralinos, los cuales se obtienen a partir de sensores remotos, esta información constituye una herramienta útil para la toma de decisiones en materia de manejo y protección para las Áreas Marinas Protegidas (AMP). Sin embargo en México los estudios son insuficientes dado que solamente tres de las nueve Áreas Marinas Protegidas decretadas en el país cuentan con mapas temáticos; inicialmente el Parque Nacional Arrecife Alacranes a partir de sensores remotos se ha obtenido una clasificación de los hábitats y un modelado espacial de los fondos bentónicos (Bello-Pineda *et al.*, 2006); recientemente en el Parque Nacional "Sistema Arrecifal Veracruzano se han cartografiado varios arrecifes coralinos, en los cuales se representa la distribución de los hábitats bentónicos (Pérez-España y Vargas-Hernández, 2008; Aguilera, 2012). No obstante, parte de esta información es resultado de utilizar nuevas tecnologías denominadas plataformas alternas que consisten en procesar información a partir de fotografías y videos obtenidos de drones y globos aéreos (Aguilera, 2012).

Por el contrario, el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), de ocho arrecifes coralinos que lo componen (SEMARNAT y CONANP, 2014), solamente el arrecife Lobos cuenta con mapas de distribución de las especies dominantes de la planicie

arrecifal, el cual fue realizado hace más de cuatro décadas (Chávez *et al.*, 1970). En el presente trabajo se emplea otra alternativa para la obtención de datos de la distribución espacial de los componentes bentónicos, y consiste en utilizar una cámara digital con receptor de posicionamiento global (GPS), esta técnica fue aplicada en el arrecife Enmedio (ecosistema que forma parte del SALT) para describir la distribución espacial de los fondos bentónicos que caracterizan principalmente la planicie arrecifal, misma que ha sufrido dos encallamientos de barcos, el primero en la porción sur y el segundo en la parte este de la ladera de barlovento (SEMARNAT y CONANP, 2014), por esta razón es pertinente proporcionar un mapa temático para especificar la distribución de los componentes bentónicos que caracterizan la planicie del arrecife Enmedio.

MATERIALES Y METODOS

El arrecife Enmedio es de tipo plataforma (Chávez *et al.*, 2010) y tiene una longitud total de < 500 m, se localiza a 9 km de la costa y a 14 km de la desembocadura del río Tuxpan, entre las coordenadas 21° 00' 27" N y 97° 10' 36" W. Este arrecife presenta tres zonas arrecifales: sotavento, planicie y barlovento, la pendiente oeste se caracteriza por ser más pronunciada (Tunnell *et al.* 2010). Forma parte del área de protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, decretado en el 2009.

Durante el periodo noviembre 2014-abril 2016 se efectuaron 25 expediciones al arrecife Enmedio para recabar datos de la distribución espacial de los componentes bentónicos de la planicie arrecifal, para tal fin se utilizó una cámara fotográfica sumergible marca Canon PowerShot modelo D30 con receptor de posicionamiento global

(GPS). Mediante buceo libre se tomaron fotografías de los hábitats bentónicos dominantes, los trayectos se realizaron paralelos al arrecife y con respecto a los grupos bentónicos. Dado que la cámara fotográfica debe captar la señal satelital, el buzo primero posicionaba la cámara de manera vertical afuera del agua durante diez segundos para tomar una fotografía con el fin de asegurar el registro de las coordenadas geográficas (Fig. 1a), posteriormente sumergía la cámara y procedía a tomar la fotografía del bentos (Fig. 1b). Este procedimiento se realizó cada vez que se avanzaba aproximadamente 2 m para tomar la siguiente fotografía del componente bentónico dominante.

Una vez recabado los datos geográficos, las fotografías fueron revisadas en una computadora para identificar el componente dominante y anotar las coordenadas geográficas, esta información se capturó y se organizó en un archivo de Excel; los hábitats bentónicos determinados se clasificaron numéricamente, por ejemplo la arena, escombros, cresta, corales, zoantidos se le asignaron los números 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente, así sucesivamente a cada grupo bentónico se le designó un número distinto.

Para obtener el mapa de la distribución espacial se analizó la información bentónica y geográfica en el programa ArcMap®, para esto, los datos fueron importados al programa y posteriormente convertidos en formato Shapefile (shp). Con base a esta información vectorial y al conocer los datos de la variable z (componentes bentónicos) se realizó una interpolación eligiendo el método Kriking simple. Posteriormente la imagen resultante fue sometida a una reclasificación para la edición del mapa temático.

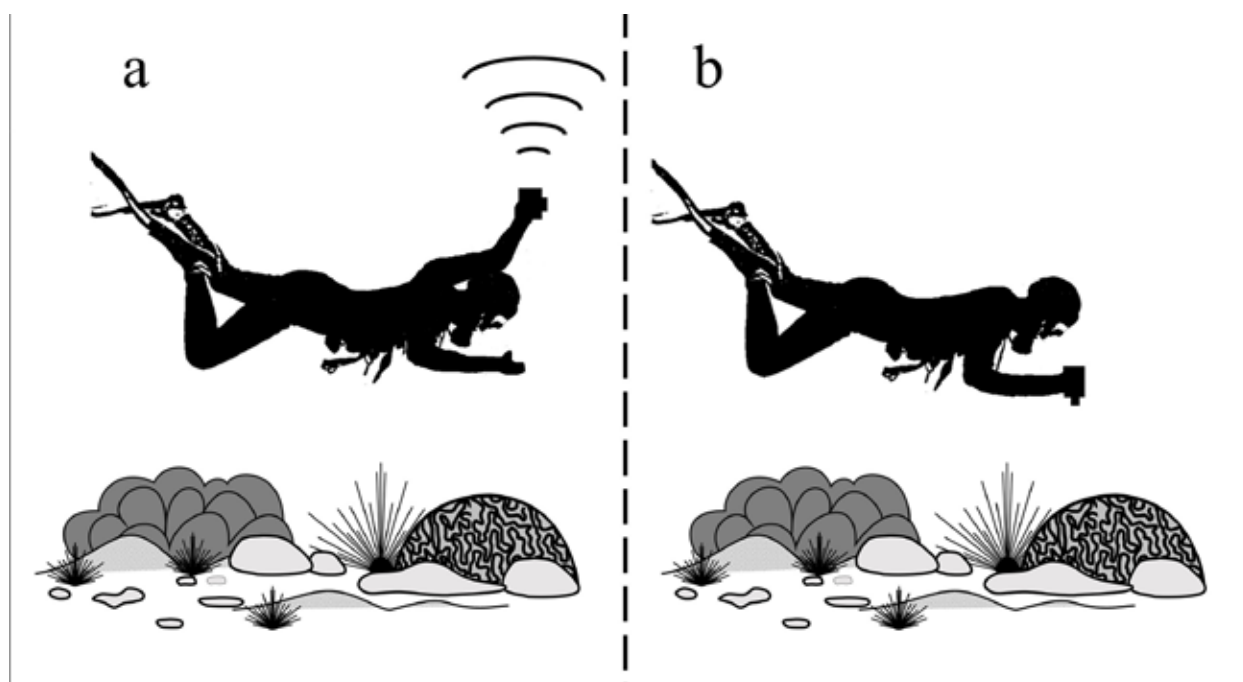


Fig. 1. Procedimiento para la obtención de datos geográficos a través de fotografías digitales. a) Recepción de la señal satelital con la cámara fuera del agua; b) Registro fotográfico del bentos.

Con la modelación espacial obtenida se realizó una descripción de la distribución de los componentes bentónicos dominantes que caracterizan la planicie arrecifal basándose esencialmente en la interpretación visual del propio mapa bentónico (Green *et al.*, 2000), así mismo se aporta a manera de lista registros de las especies asociadas a los grupos bentónicos dominantes considerando solamente esponjas, corales, anémonas, zoantidos, moluscos y peces, grupos que son fáciles de identificar en campo por las características de coloración y morfología externa (Gómez 2002; Humann and Deloach, 2002a, b; Collin *et al.*, 2005; Sánchez and Wirshing, 2005; Ocaña *et al.*, 2007), en el caso de los peces solamente se registraron aquellas que tienen un comportamiento residente y territorial.

Con la información obtenida de las especies asociadas, se determinó la existencia de similitudes y diferencias estadísticas

entre los ensamblajes de especies de cada hábitat bentónico mediante la prueba de similitud ANOSIM, así mismo se utilizó la rutina SIMPROF para identificar la distinción de grupos disimiles con el fin de comprobar diferencias significativas por pares de grupos mediante un análisis ANOSIM pareado. Para representar gráficamente las similitudes/disimilitudes de los grupos se utilizó el método de ordenación de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) con distancia de Jaccard, también se realizó un SIMPER para detectar que especies contribuyen a la similitud de los grupos formados, todo el análisis multivariado se efectuó mediante el programa Primer V7 (Clarke and Gorley, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base a 1160 puntos geográficos recabados, la modelación espacial resultante muestra que la planicie del arrecife

Enmedio está caracterizado por seis hábitats bentónicos dominantes representados por las especies *Acropora palmata*, *Millepora alcicornis*, *Orbicella annularis*, *Pseudodiploria clivosa*, *Porites furcata*, *Palythoa caribaeorum*, *Eunicea flexuosa* y por los fondos bentónicos: cresta arrecifal y escombros (Fig. 2 y 3). Estos hábitats bentónicos muestran un parecido a las lagunas arrecifales descritas para el SAV y el Mar Caribe dado que en ellos también se reconoce una cresta arrecifal, parches coralinos, arena, escombros y pavimento

coralino (Díaz *et al.*, 2000; Bello-Pineda *et al.*, 2005; Aguilera, 2012).

En relación al ensamblaje de especies, se registraron 32 especies de invertebrados y 22 de peces asociados a los componentes bentónicos. Los hábitats constituidos por *A. palmata*, y *O. annularis* presentaron mayor cantidad de riqueza con 41 y 45 especies respectivamente, por el contrario, los componentes bentónicos *P. caribaeorum* y la cresta arrecifal son las menos ricas en especies debido a que registraron el 29.6% y 16.6% de la diversidad total

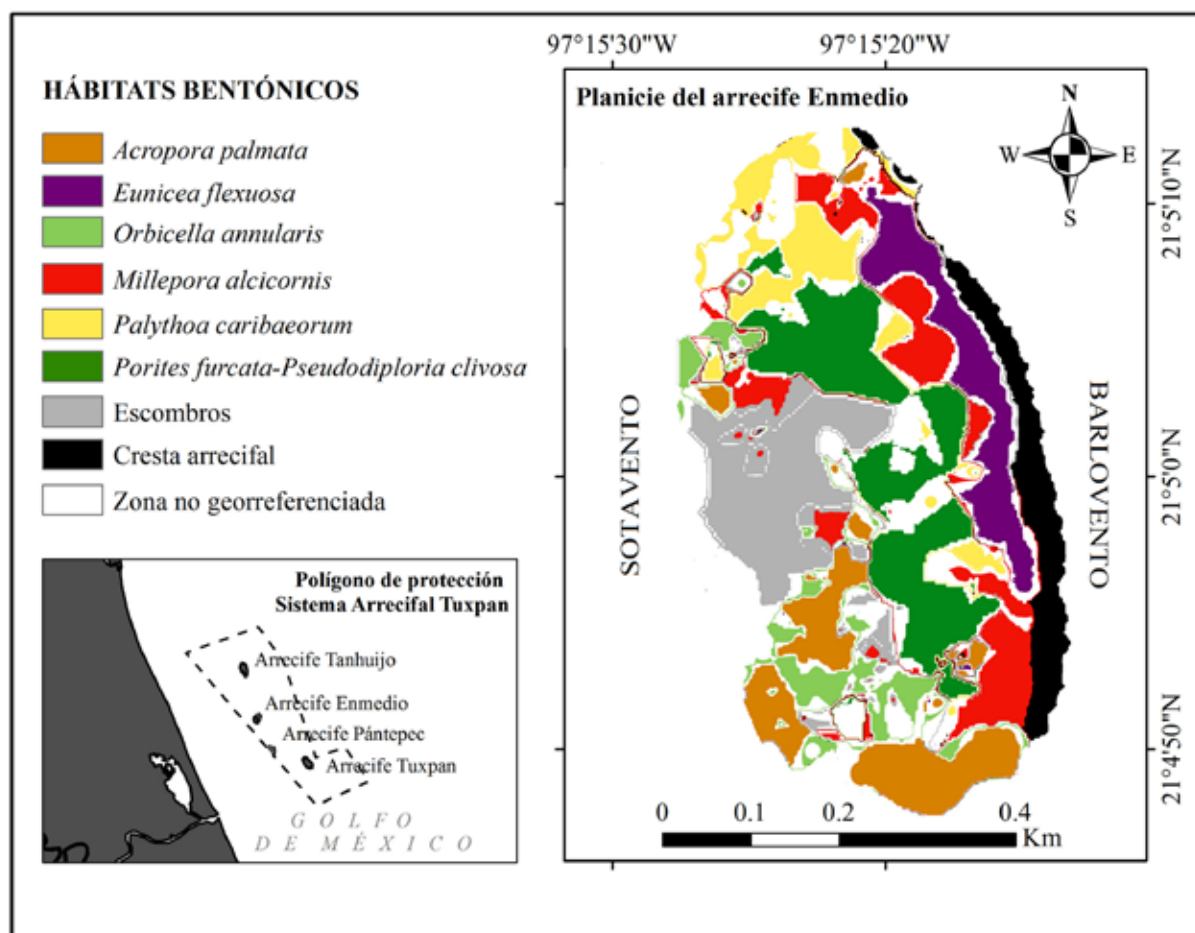


Fig. 2. Modelación espacial de los componentes bentónicos de la planicie del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobo-Tuxpan.

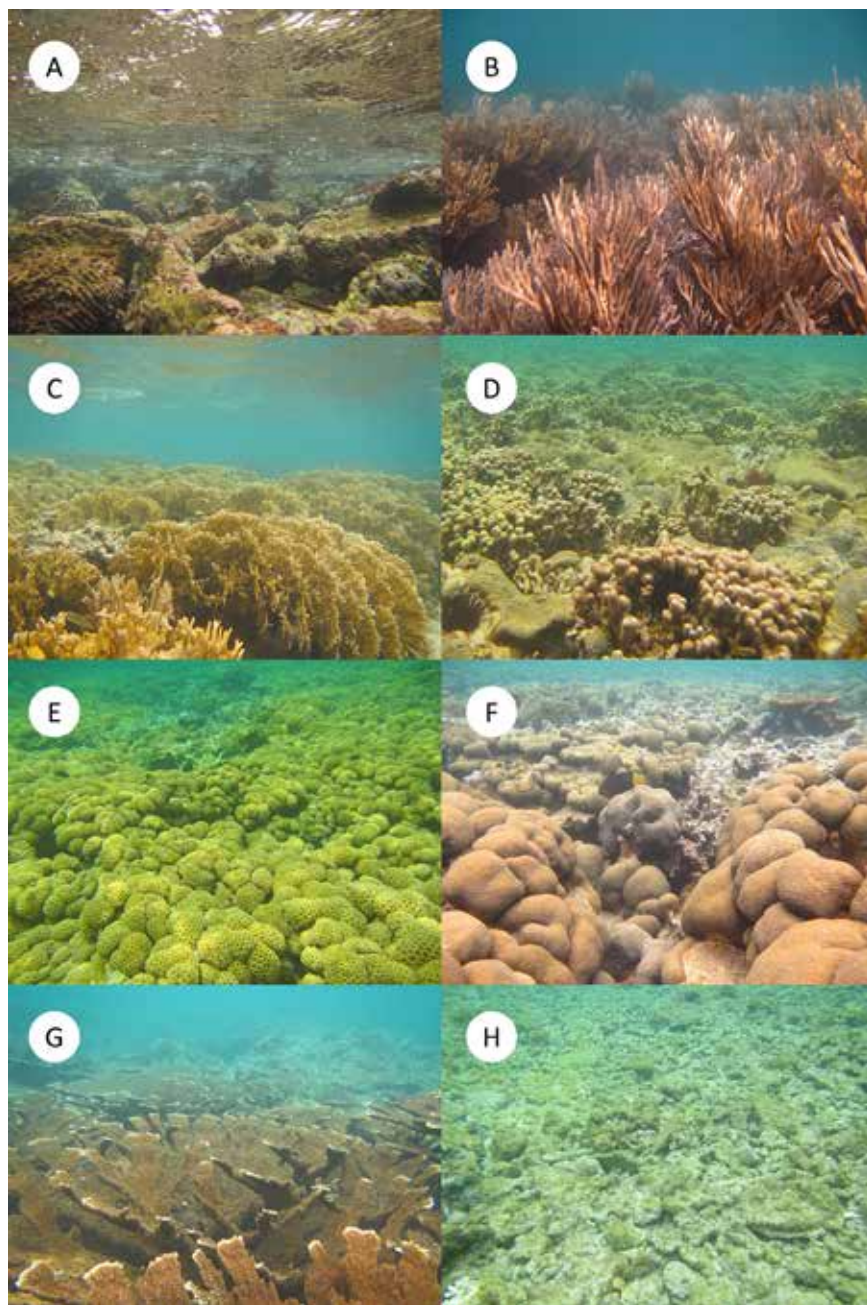


Fig. 3. Hábitats bentónicos de la planicie del Arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. A. Cresta arrecifal; B. *Eunica flexuosa*; C. *Millepora alcicornis*; D. *Porites furcata*-*Pseudodiploria clivosa*; E. *Palythoa caribaeorum*; F. *Orbicella annualis*; G. *Acropora palmata*; H. Escombros.

respectivamente (Tabla 1), estos contrastes son significativos de acuerdo a la prueba ANOSIM ($R=1$; $P=0.036$). Con base a la rutina SIMPROF se distinguen siete grupos

los cuales son disimiles entre sí con respecto al ensamblaje de especies de cada hábitat bentónico, si bien son distintos en composición de especies estadísticamente dichas diferencias no son significativas según a la prueba ANOSIM pareada (Tabla 2).

El método de ordenación muestra que los hábitats bentónicos con mayor afinidad en el ensamblaje de especies corresponden a *O. annularis* con *A. palmata* los cuales presentaron un 89.6% de similitud siendo 28 especies las que causan dicha semejanza según la rutina SIMPER, a su vez dicho grupo mantiene mayor similitud con los hábitats *M. alcicornis* y *P. porites-P. clivosa*, en cambio los más distantes y disimiles corresponden a la Cresta y Escombros, seguido de *P. flexuosa* y *P. caribaeorum* (Figura 4).

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL E IMPORTANCIA DE LOS HÁBITATS BENTÓNICOS

Inicialmente al este de la planicie del arrecife Enmedio se distingue la cresta arrecifal compuesta por restos de corales muertos de *A. palmata*, según Díaz (2005) este primer hábitat bentónico es de suma importancia

Grupos biológicos	Especies asociadas	Hábitats bentónicos							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Esponjas	<i>Amphimedon compressa</i>			■	■				
	<i>Amphimedon viridis</i>	▲	▼	■	■	◆			
	<i>Chondrilla caribensis</i>			■	■	◆			
	<i>Cliona varians</i>		▼	■		◆	●	+	
Corales	<i>Colpophyllia natans</i>		▼	■	■				
	<i>Millepora alcicornis</i>	▲		■	■	◆			■
	<i>Orbicella annularis</i>	▲	▼	-	■	◆	●	+	
	<i>Porites astreoides</i>		▼	■	■	◆			
	<i>Pseudodiploria clivosa</i>	▲	▼	■	■	◆	●		
	<i>Pseudodiploria strigosa</i>		▼	■	■				
	<i>Siderastrea radians</i>		▼	■	■	◆		+	
	<i>Palythoa caribaeorum</i>		▼	■	■	◆	●	+	
Zoantidos	<i>Zoanthus pulchellus</i>		▼	■		◆		+	
Octocorales	<i>Erythropodium caribaeorum</i>	▲	▼	■	■	◆	●	+	
	<i>Eunicea flexuosa</i>	▲	▼	■		◆		+	
Anémonas	<i>Lebrunia coraligens</i>			■	■	◆	●	+	
	<i>Phymanthus crucifer</i>		▼		■	◆	●	+	
	<i>Stichodactyla helianthus</i>		▼	■		◆		+	
Moluscos	<i>Aplysia dactylomela</i>			■				+	
	<i>Cerithium lutosum</i>								■
	<i>Charonia variega</i>					◆		+	
	<i>Cyphoma gibbosum</i>						●		
	<i>Cypraea zebra</i>		▼	■				+	
	<i>Echinolittorina zic zac</i>								■
	<i>Lithopoma tectum</i>		▼						
	<i>Navanax aenigmaticus</i>			■		◆	●	+	
	<i>Siphonaria pectinata</i>								■
	<i>Tridachia crispata</i>			■	■	◆	●	+	

Tabla 1. Lista de especies asociadas a los hábitats bentónicos de la planicie del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Componentes bentónicos: P. caribaeorum▲; B: M. alcicornis▼; C: O. annularis■; D: A. palmata■; E: P. furcata-P. clivosa◆; F: E. flexuosa●; G: Escombros+; H: Cresta ■.

para los arrecifes coralinos debido a que atenuan la energía del oleaje y favorecen el establecimiento de comunidades sésiles hacia

el interior de la laguna, lo anterior sugiere que la protección que proporciona la propia cresta del arrecife Enmedio ha facilitado el

Grupos biológicos	Especies asociadas	Hábitats bentónicos							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Equinodermos	<i>Diadema antillarum</i>			■	■				
	<i>Echinometra lucunter</i>	▲	▼	■	■	◆			□
	<i>Echinometra viridis</i>		▼	■	■	◆			□
	<i>Eucidaris tribuloides</i>			■	■				□
Peces	<i>Abudefduf saxatilis</i>	▲	▼	■	■	◆			
	<i>Acanthurus chirurgus</i>		▼	■	■		●	+	
	<i>Acanthurus tractus</i>		▼	■	■		●	+	
	<i>Anisotremus virginicus</i>			■	■		●		
	<i>Cantherines pullus</i>	▲	▼	■	■				
	<i>Chaetodon ocellatus</i>		▼	■	■		●		
	<i>Chaetodon capistratus</i>			■	■		●		
	<i>Epinephelus adscensionis</i>		▼	■	■		●		
	<i>Gnatholepis thompsoni</i>			■	■			+	
	<i>Haemulon chrysargyreum</i>			■	■		●		
	<i>Haemulon flavolineatum</i>			■	■		●		
	<i>Halichoeres bivittatus</i>	▲	▼	■	■	◆	●	+	
	<i>Kyphosus incisor</i>				■		●	+	
	<i>Labrisomus nuchipinnis</i>		▼	■	■	◆			
	<i>Malacoctenus triangulatus</i>	▲	▼	■	■	◆			□
	<i>Microspathodon chrysurus</i>		▼	■	■	◆	●		
	<i>Ophioblennius macclurei</i>	▲		■	■	◆			□
	<i>Pomacanthus paru</i>	▲	▼	■	■	◆	●		
	<i>Stegastes adustus</i>	▲	▼	■	■	◆		+	
	<i>Stegastes leucostictus</i>			■	■	◆			
	<i>Thalassoma bifasciatum</i>	▲	▼	■	■	◆	●	+	
	<i>Tigrigobius redimiculus</i>	▲	▼	■	■	◆			
	Total especies	16	32	45	41	31	23	22	9

Tabla 1. Continuación

desarrollo de especies de octocorales y corales en la laguna arrecifal (Fig. 2 y 3a) principalmente representados por *E. flexuosa*, *O. annularis*, *P. strigosa*, *P. clivosa*, *A. palmata* y *M. alcornis*, especies que comúnmente se desarrollan bajo condiciones de

baja y mediana energía (Díaz *et al.*, 2000; Díaz, 2005).

Del lado protegido de la cresta arrecifal, los montículos compuestos por restos de *A. palmata* forman una depresión de aproximadamente 1.5 m, seguramente este

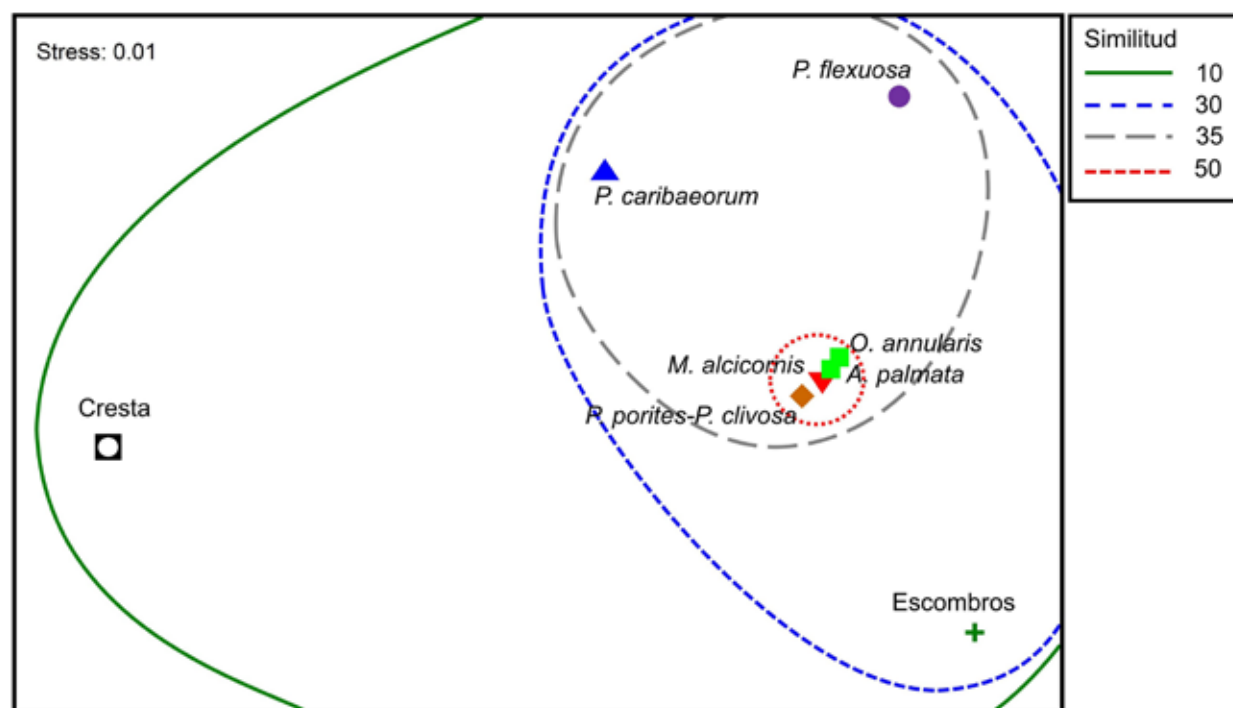


Fig. 4. Análisis NMDS con base en el ensamblaje de especies registradas en cada hábitat bentónico dominante de la planicie del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.

hundimiento posibilita un entorno de baja energía dado que se establece una amplia área de *E. flexuosa* que se extiende precisamente paralelo a la cresta arrecifal (Figura 2 y 3b), esta especie generalmente es reportado a partir de 5 m de profundidad en los arrecifes del SAV y en el Mar Caribe (Tunnell and Nelson, 1989, Rada y Ruiz, 2004), por lo que dicho hábitat bentónico se puede considerar único del SALT y sobre todo importante para el arrecife Enmedio dado que proporciona refugio principalmente a peces arrecifales (Tabla 1).

Como tercer hábitat bentónico destacan las colonias de *M. alcornis*, la cual confluye paralelamente a la zona de *P. flexuosa*, presentando amplios parches hacia la porción sureste y noreste de la planicie (Fig. 2 y 3c). La prevalencia de *M. alcornis* en la llanura arrecifal se atribuye a que es una especie adaptada a condiciones de estrés

por luz y oleaje (Kaandorp, 1999), incluso es considerado ecológicamente importante dado que proporciona refugio para una gran variedad de invertebrados (Castro *et al.*, 2006; García *et al.*, 2009), dato que es corroborado en este estudio donde al menos fueron registrados 32 especies, cabe mencionar que varias asociaciones de peces realizan depredación esencialmente por especies del género *Stegastes* y por *Microsphotodon chrysurus* (Pereira *et al.*, 2012) mismas que fueron registrados en el estudio.

Posteriormente justo detrás de la zona de *E. flexuosa* y *M. alcornis* se establece el cuarto hábitat bentónico compuesto por amplias áreas de *Porites furcata*-*Pseudodiploria clivosa*, esta zonación se ubica en la porción central de la planicie y se extiende de igual manera paralelo a la cresta arrecifal (Fig. 2 y 3d), ambas especies de

Hábitats bentónicos	Valor R	Valor P
<i>P.flexuosa</i> ,/ <i>O.annularis</i> - <i>A. palmata</i>	1	0.333
<i>M. alccornis</i> / <i>O.annularis</i> - <i>A. palmata</i>	1	0.333
<i>O.annularis</i> - <i>A. palmata</i> / <i>P. porites</i> - <i>P. clivosa</i>	1	0.333
<i>O.annularis</i> - <i>A. palmata</i> / <i>P. caribaeorum</i>	1	0.333
<i>O.annularis</i> - <i>A. palmata</i> /Escombros	1	0.333
<i>O.annularis</i> - <i>A. palmata</i> /Cresta arrecifal	1	0.333

Tabla 2. Análisis de similitud ANOSIM por pares de los grupos disímiles representados en la figura 4.

corales son típicas de áreas someras al ser oportunistas y tolerantes al estrés por el oleaje y la luz (LaJeunesse, 2002; Darling *et al.*, 2012) por esta razón generalmente se desarrollan justo detrás de la cresta arrecifal (Díaz *et al.*, 2000), esta zonación es importante dado que también provee espacios para 31 especies de invertebrados y de peces (Tabla 1), cabe mencionar que Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez (2003) citan a estas especies como dominante y subdominante respectivamente para la planicie del arrecife Lobos; este hábitat arrecifal termina colindando al norte con el quinto hábitat bentónico compuesto por el zoantido *P. caribaeorum* (Fig. 2 y 3e), que igualmente es común de ambientes someros (Suchanek y Green, 1981; Silva *et al.*, 2015), aunque es uno de los hábitats bentónicos que menos especies asociadas registró en la planicie (Tabla 1).

La prevalencia de *P. caribaeorum* no es casual en la planicie debido a que es señalado como abundante para el arrecife Lobos (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, 2003); en áreas del caribe la abundancia de *P. caribaeorum* se atribuye a que es una especie competitiva por el espacio y de rápido crecimiento (Suchanek y Green, 2002), además es una especie no palatable para la mayoría de los habitantes arrecifales, solo algunas especies de

peces logran consumirla, por ejemplo: *Pomacanthus paru*, *Cantherines pullus* y *Abudefduf saxatilis* ((Francini-Filho y Leão de Moura, 2010), taxones que justamente fueron registrados en este hábitat bentónico (Tabla 1).

El sexto hábitat bentónico lo constituyen colonias masivas de *O. annularis*, las cuales muestran amplios parches que concurren con la zonación de *P. furcata*-*P. clivosa* y *M. alccornis*, específicamente al suroeste y noroeste de la planicie y terminan convergiendo hacia la ladera de sotavento (Fig. 2 y 3f), esta zonación es importante dado que resguarda el 83.3% de la riqueza registrada en la planicie (Tabla 1). Si bien esta especie comúnmente es de ambientes de baja y mediana energía (Díaz, 2005; Chollet and Mumby, 2012), tiene la capacidad de establecerse en ambientes someros dado que es tolerante al estrés por el oleaje y la intensidad lumínica (LaJeunesse, 2002; Darling *et al.*, 2012). *Orbicella annularis* es considerado como uno de los principales constructores de arrecifes en el Golfo de México después de las acroporas (Escobar-Vásquez & Chávez, 2012; Horta-Puga *et al.* 2015), además ecológicamente sostienen una amplia diversidad de especies asociadas a sus colonias (Mumby *et al.*, 2008), por lo que su presencia en la planicie del arrecife Enmedio es de suma importancia para mantener la cobertura y el ensamblaje de especies arrecifales.

Acropora palmata representa el séptimo hábitat bentónico, básicamente manifiesta dos amplias áreas que están separados por la zona de *O. annularis*, el primer parche se establece al oeste de la planicie después de la zona de *P. furcata*-*P. clivosa* a una profundidad <1 m, el segundo parche se ubica al sur de la llanura arrecifal

justamente donde comienza la ladera de sotavento, en este lugar las colonias son más densas y grandes dado que se establece a una profundidad de 1-3 m (Fig. 2 y 3g).

Aunque no se tiene datos históricos para el arrecife Enmedio, se menciona que en el SALT la escasa representatividad de *A. palmata* es resultado del declive ocurrido en la década de los ochenta en todo el Atlántico Mexicano, donde *A. palmata* dominaba la ladera de barlovento antes de la mortandad masiva (Jordán-Dahlgren, 1993; Jordán-Dahlgren and Rodríguez-Martínez, 2003; Chávez, 2010), por lo tanto la zonación que muestra *A. palmata* en el arrecife Enmedio resulta importante en especial porque en otros arrecifes del SALT no existen amplias áreas de esta especie, solamente se perciben colonias dispersas (observación personal). En los arrecifes del SAV, se menciona que *A. palmata* está mostrando signos de recuperación y se destaca que las colonias son potencialmente reproductivas (Larson *et al.*, 2014).

Otro aspecto importante que presenta *A. palmata*, es la cantidad de especies asociadas, dado que resguarda el 75.9% de la riqueza total registrada, esta cualidad que presenta *A. palmata* en el arrecife Enmedio se le atribuye a la estructura física de las colonias, dado que las ramas son excelentes refugios para una gran diversidad habitantes arrecifales principalmente para equinodermos y peces (Mumby *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2014).

La zona de escombros representa el octavo hábitat arrecifal, este fondo bentónico se extiende ampliamente al oeste de la planicie, colinda con las zonas de *P. furcata*-*P. clivosa*, *A. palmata* y *O. annularis* (Fig. 2 y 3h). Esta zona también es típica de la llanura arrecifal y generalmente se forma por la acumulación de fragmentos de material

calcáreo que son acarreados y depositados por el efecto erosivo del oleaje y las corrientes, especialmente durante las tormentas (Díaz *et al.*, 2000; Chávez *et al.*, 2010). Si bien la zona de escombros abarca una amplia área de la llanura, no representa un hábitat importante dado que registró los valores más bajos en riqueza de especies (Tabla 1), esto se atribuye a que los restos calcáreos forman un sustrato no consolidado, por consecuencia el establecimiento de especies sésiles es limitado (Díaz *et al.*, 2000; Díaz, 2005; Dikou, 2010), solamente especies que tienen la capacidad de estabilizar el sustrato como *E. caribaeorum* y *P. caribaeorum* logran formar colonias dispersas en esta zona dado que son especies incrustantes, competidoras y de rápido crecimiento (Suchanek and Green, 1981; Sebens and Miles, 1988; Silva *et al.*, 2015).

DISTRIBUCIÓN EN EL PERFIL TRANSVERSAL

La distribución de los componentes bentónicos parecen estar controlados por la energía y dirección del oleaje, dado que el esquema de zonación elaborado (Fig. 5) concuerda con el patrón de distribución que se muestran en las obras de Díaz *et al.* (2000), Díaz (2005) y Chávez *et al.* (2010). Por lo tanto, esto conduce a que los hábitats bentónicos se establezcan de acuerdo a las capacidades adaptativas, de tal forma que especies con plasticidad morfológica, de rápido crecimiento y tolerantes al estrés por el oleaje se desarrollan detrás de la cresta arrecifal tal como ocurre justamente con los hábitats bentónicos representados por *P. caribaeorum*, *M. alcicornis*, *P. furcata* y *P. clivosa* (Suchanek and Green, 1981; Sebens and Miles, 1988; Kaandorp, 1999; Darling *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015), los cuales se establecen cerca de la rompiente,

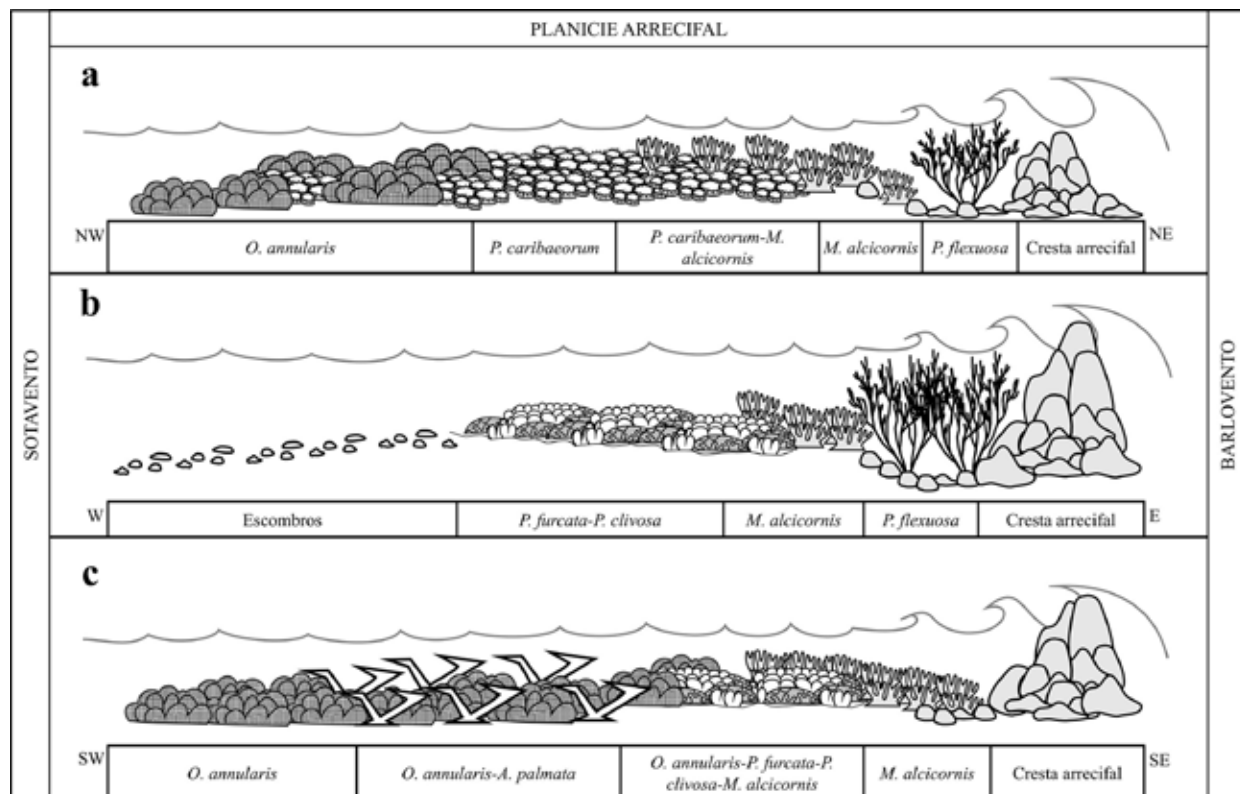


Fig. 5. Esquemas de distribución de los hábitats bentónicos en un perfil transversal de la planicie del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. a) Área norte; b) área central; c) área sur.

mientras especies que comúnmente se desarrollan en ambientes de baja y mediana energía prosperan mejor al oeste de la llanura, lejos de la cresta arrecifal como *O. annularis* (Díaz, 2005; Chollet and Mumby, 2012) la cual se ubica preferentemente al noroeste y suroeste de la llanura. Aunque ya se discutió la presencia de *E. flexuosa*, es necesario recalcar que la depresión que existe del lado protegido de la cresta posibilita el desarrollo de este octocoral ramificado principalmente al este y noreste de la laguna (Fig. 5).

Finalmente el mapa temático obtenido para el arrecife Enmedio representa la primera contribución que deriva de datos georreferenciados provenientes de una cámara digital con GPS, dado que los mapas elaborados para los arrecifes del

Golfo de México (Bello-Pineda *et al.*, 2006; Pérez-España y Vargas-Hernández, 2008; Aguilera-Arias *et al.*, 2015) son resultado de la combinación de varias fuentes de datos, esencialmente de imágenes satelitales y de plataformas alternas como el globo aéreo y drones. Si bien utilizar una cámara con GPS consume tiempo y esfuerzo de trabajo para obtener información espacial, si representa una buena alternativa como las plataformas alternas cuando se carece de presupuesto (Aguilera-Arias *et al.*, 2015), dado que es de bajo costo, es un instrumento pequeño, fácil de manipular, recaba información de los hábitats bentónicos a través de fotografías, además simplifica el procedimiento de la toma de datos ya que solo se requiere de una persona, la propia cámara y una batería de reemplazo para

continuar con los recorridos, que al compararlo con otras técnicas que requieren de más recursos materiales y humanos para obtener información espacial y datos del bentos de manera simultánea (Domínguez *et al.*, 2010; Aguilera, 2012). De optar por esta técnica para posteriores estudios, se sugiere incorporar datos cuantitativos como la cobertura relativa por tratarse de organismos sésiles y utilizar análisis multivariados (Mumby, 2000) a fin de obtener una clasificación más precisa de los hábitats bentónicos basado en valores de cobertura bentónica (Green *et al.*, 2000).

En conclusión, todo parece indicar que la distribución de los ocho hábitats bentónicos que caracterizan la laguna del arrecife Enmedio está determinado por la energía del oleaje y por la protección que proporciona la cresta arrecifal, asimismo se catalogan como importantes para el arrecife dado que proveen refugio y espacio para varios taxones de invertebrados y peces, por lo tanto esto justifica proponer estrategias de manejo particulares para restringir actividades de origen humano principalmente en las zonas conformadas por los corales *O. annularis* y *A. palmata*, dado que estas especies son las que más ensamblaje de especies presentaron, además mantienen la cobertura coralina en el arrecife y especialmente por el estatus de protección que presenta *A. palmata* de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010.

REFERENCIAS

- AGUILERA-ARIAS, J., RAMÍREZ-CHÁVEZ, E.J., y BELLO-PINEDA, J. (2015). Comparación en el uso de globos y drones como herramientas para el mapeo y monitoreo del PNSAV. *E-BIOS*, 2(5), 3-20.
- BELLO-PINEDA, J., PONCE-HERNÁNDEZ, y R., LICEAGA-CORREA, M.A. (2006). Incorporating GIS and MCE for suitability assessment modelling of coral reef resources. *Environmental Monitoring and assessment*, 114, 225-256.
- CASTRO S. C., MONROY L. M. y SOLANO, O.D. (2006). Estructura de la comunidad epifaunal asociada a colonias de vida libre del hidrocoral *Millepora alcicornis* Linnaeus 1758 en Bahía Portete, Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 35, 195-206.
- CENDALES, M. H., ZEA, S. y DÍAZ, J.M. (2002). Geomorfología y unidades ecológicas del complejo de arrecifes de las Islas del Rosario e Isla Barú (Mar Caribe, Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 26(1), 497-510.
- CHÁVEZ, E.A., TUNNELL JR., J. W. y WITHERS, K. (2010). Zonación y Ecología de los Arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco Campeche. En J.W. Tunnell Jr., E.A. Chávez y K. Withers, (Eds.), *Arrecifes Coralinos del Sur del Golfo de México* (pp. 60-100) (versión en español). México: Instituto Politécnico Nacional.
- CHOLLETT, I. y MUMBY, P.J. (2012). Predicting the distribution of *Montastraea* reefs using wave exposure. *Coral Reefs*, 31, 493-503.
- CLARKE, K.R. y GORLEY, R.N. (2015). Getting started with PRIMER V7. PRIMER-E. United Kingdom. West Hoe Plymouth PL1 3 DH. PRIMER-E Ltd.
- COLLIN, R., DIAZ, M.C., NUREMBURG, J., ROCHA, M.R., SÁNCHEZ, J.A., SCHULZE, A. SCHWARTZ y M., VALDEZ, A. (2005). Photographic Identification Guide to Some Common Marine Invertebrates of Boca Del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*, 41(3), 638-707.
- DARLING, E.S., ALVAREZ-FILIP, L., OLIVER, T.A., MCCLANAHAN y T.R. y COTÉ, I.M. (2012). Evaluating life history strategies

- of reefs corals from species traits. *Ecology Letters*, 15, 1378–1386.
- DE LA CRUZ-FRANCISCO, V., GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, M. y MORALES-QUIJANO, I. (2016a). Faunística y distribución de Demospongiae: Porifera del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *CICIMAR. Oceánides*, 31(1): 7-16.
- DE LA CRUZ-FRANCISCO, V., GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, M. y MORALES-QUIJANO, I. (2016b). Inventario taxonómico de Hydrozoa (Orden: Anthoathecata) y Anthozoa (Subclases: Hexacorallia y Octocorallia) del Arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. *CICIMAR. Oceánides*, 31(1): 23-34.
- DÍAZ M., J.M. (2005). Esquemas espaciales de zonación ecológica y morfología de las lagunas de los atolones y complejos arrecifales de un archipiélago oceánico del Caribe: San Andrés y Providencia (Colombia). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 29(112), 357-369.
- DÍAZ, J.M., BARRIOS, L.M., CENDALES, M.H., GARZÓN-FERREIRA, J., GEISTER, J., LÓPEZ-VICTORIA, M., OSPINA, G.H., PARRA-VELANDIA, F., PINZÓN, J., VARGAS-ANGEL, B., ZAPATA, F.A. y ZEA, S. (2000). *Áreas Corallinas de Colombia*. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales 5, Santa Marta, Colombia.
- DÍAZ, J.M., SÁNCHEZ, J.A. y DÍAZ-PULIDO, G. (1996). Geomorfología y formaciones arrecifales recientes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, Plataforma Continental del Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 25, 87-105.
- DIKOU, A. (2010). Ecological processes and contemporary coral reef management. *Diversity*, 2:717-737. doi:10.3390/d2050717
- DOMÍNGUEZ, J.G., GÓMEZ, J.C., RICAURTE, C., MAYO, G., OREJARENA, J., DÍAZ, J.M. y ANDRADE, C.A. (2010). Cobertura de los fondos y paisajes bentónicos asociados a formaciones diapíricas en los bancos de Salmedina, Plataforma continental del Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 39(1), 117-135.
- ESCOBAR-VÁSQUEZ, CHÁVEZ (2012). Coral community structure at Isla Lobos reef, Gulf of México. Biodiversity and systematic. En *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*, Cairns, Australia, p. 6.
- FRANCINI-FILHO, R.B. y LEÃO DE MOURA, R. (2010). Predation on the toxic zoanthid *Palythoa caribaeorum* by reef fishes in the Abrolhos Bank, Eastern Brasil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(1), 77-79.
- GARCÍA, T.M., MATHEWS-CASCON, H. y FRANKLIN-JUNIOR, W. (2009). *Millepora alcicornis* (Cnidaria: Hydrozoa) as substrate for benthic fauna. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(2), 153-155.
- GARZA-PÉREZ, J.R., LEHMANN A. y ARIAS-GONZÁLEZ, J.E. (2004). Spatial prediction of coral reef habitats: integrating ecology with spatial modeling and remote sensing. *Marine Ecology Progress Series*, 269, 141-152.
- GÓMEZ, P. (2002). *Esponjas marinas del Golfo de México y el Caribe*. México D.F.: AGT Editor, S.A.,
- GREEN, E., CLARK, C. y EDWARDS, A. (2000). Image Classification and hábitat mapping. En A.J. Edwards (Ed.), *Remote sensing handbook for tropical coastal management* (pp. 141-154) (Coastal Management Sourcebooks 3). UNESCO Publishing,
- GUZMÁN, H.M. y GUEVARA, C. A. (1998). Arrecifes coralinos de Bocas del Toro, Panamá: II. Distribución, estructura y estado de conservación de los

- arrecifes de las Islas Bastimentos, Solarte, Carenero y Colón. *Rev. Biol. Trop.*, 46(4), 889-912.
- HORTA-PUGA, G., TELLO-MUSI, J.L., BELTRÁN-TORRES, A., CARRICART-GANIVET, J.P., CARRIQUIRY, J.D. y VILLAESCUSA-CELAYA, J. (2015). Veracruz Reef System: a hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment. 181-208. En A. Granados-Barba, I. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (Eds.), *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche.
- HUMANN, P. y DELOACH, N. (2002a). *Reef Creature identification Florida, Caribbean, Bahamas*. 2da ed. Jacksonville, Florida: New World Publications.
- HUMANN, P. y DELOACH, N. (2002b). *Reef fish identification Florida, Caribbean, Bahamas*. Jacksonville, Florida: New World Publications..
- JORDÁN-DAHLGREN, E. y RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R.E. (2003). The Atlantic Coral Reefs of Mexico. En J Cortes (Ed.), *Latin American Coral Reefs* (pp: 131-158), CIMAR. Universidad de Costa Rica.
- KAANDORP, J.A. (1999). Morphological analysis of growth forms of branching marine sessile organisms along environmental gradients. *Mar. Biol.*, 134, 295-306.
- LAJEUNESSE, T.C. (2002). Diversity and community structure of symbiotic dinoflagellates from Caribbean coral reefs. *Mar. Biol.*, 141, 387-400.
- LARSON, E.A., GILLIAM, D.S., LÓPEZ P., M. y WALKER, B.K. (2014) Possible recovery of *Acropora palmata* (Scleractinia: Acroporidae) within the Veracruz Reef System, Gulf of Mexico: a survey of 24 reefs to assess the benthic communities. *Rev. Biol. Trop.*, 62(Suppl. 3), 75-84.
- LÓPEZ-VICTORIA, M. y DÍAZ, J. M. (2000). Morfología y estructura de las formaciones coralinas del archipiélago de San Bernardo, Caribe Colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 24(91), 219-230.
- MARTÍNEZ, K., BONE, D., CRÓQUER, A. y LÓPEZ-ORDAZ, A. (2014). Population assessment of *Acropora palmata* (Scleractinia: Acroporidae): relationship between hábitat and reef associated species. *Rev. Biol. Trop.*, 62 (Suppl. 3), 85-93.
- MUMBY, P. (2000). Methodologies for defining habitats. En A.J. Edwards (Ed.), *Remote sensing handbook for tropical coastal management* (pp. 131-140), Coastal Management Sourcebooks 3. UNESCO Publishing.
- MUMBY, P.J., BROAD, K., BRUMBAUGH, D.R., DAHLGRE, C., HARBORNE, A.R., HASTINGS, A., HOLMES, K.E., KAPPEL, C.V., MICHELL, F. y SANCHIRICO, J.N. (2008). Coral reef habitats as surrogates of species, ecological functions, and ecosystem services. *Conserv. Biol.*, 22, 941-951.
- MUMBY, P.J. y HARBORNE, A.R. (1998). Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs. *Biological Conservation*, 88, 155-163.
- OCAÑA, O., MORO, L., ORTEGA, J., ESPINOSA, J. y CABALLER, M. (2007). Guía visual de la Biodiversidad marina de Guanahacabibes. I. Anémonas (Anthozoa: Actinaria, Corallimorpharia, Ceriantharia y Zoanthidae). *Avicennia*, 19, 133-142.
- PEREIRA C., P.H., LEAL, I.C.S., DE ARAÚJO, M.E. y SOUZA, A.T. (2012). Feeding association between reef fishes and the fire coral *Millepora* spp. (Cnidaria:

- Hydrozoa). *Marine Biodiversity Records*, 5(e42).
- PÉREZ ESPAÑA, H. y VARGAS HERNÁNDEZ, J. M. (2008). *Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa*. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM002. México D. F.
- RADA, M. y RUIZ, L. (2004). Octocorales de la Isla de la Blanquilla, Dependencias Federales, Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 157:31-52.
- REYNA-GONZÁLEZ, P.C., BELLO-PINEDA, J., ORTIZ-LOZANO, L., PÉREZ-ESPAÑA, H., ARCEO, P. y BRENNER, J. (2014). Incorporating expert knowledge for development spatial modeling in assessing ecosystem services provided by coral reefs: A tool for decision-making. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 279-292.
- SÁNCHEZ, J.A. y WIRSHING, H.H. (2005). A Field Key to the Identification of Tropical Western Atlantic Zooxanthellate Octocorals (Octocorallia: Cnidaria). *Caribbean Journal of Science*, 41(3), 508-522.
- SEBENS, K.P. y MILES, J.S. (1988). Sweeper tentacles in a gorgonian octocoral: morphological modifications for interference competition. *Biol. Bull.*, 175, 378-387.
- SEMARNAT & CONANP. (2014). Área de protección de flora y fauna, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Programa de Manejo. 1ra edición. México. Recuperado de http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/2014/Lobos_tuxpanfinal.pdf. Fecha de consulta 07 de enero de 2016.
- SILVA, F. J., GÓMEZ, P. B., SANTANA, C. E., SILVA, M. J., LIMA, P. E., SANTOS M., M. A. y PÉREZ D. C. (2015). Growth of the tropical zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria: Anthozoa) on reefs in northeastern Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 1-12.
- SUCHANEK, T. y GREEN, D. J. (1981). Interspecific competition between *Palythoa caribaeorum* and other sessile invertebrates on St. Croix Reefs, U.S. Virgin Islands. *Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium*, Manila, 1981, 2: 679-684.
- TUNNELL, J. W. y NELSON, T.J. (1989). A high density-low diversity octocoral community in the southwestern Gulf of Mexico. *Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 9th Annual Scientific Diving Symposium*. 325-335.