

Distribución de macroalgas e invertebrados bentónicos en la laguna arrecifal del Arrecife de Banco Chinchorro, Quintana Roo, México

Distribution of macroalgae and benthic invertebrates in the reef lagoons of Chinchorro Bank, Quintana Roo, Mexico

Alicia González-Solis¹ , Daniel Torruco^{1*}  y Ángel Daniel Torruco-González² 

1. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Yucatán, México

2. Universidad Vizcaya de las Américas, Campus Mérida, Mérida, Yucatán, México

*Autor de correspondencia: dantor6660@gmail.com

Recibido: 14 de febrero de 2021

Aceptado: 16 de abril de 2021

Publicación en línea: 03 de junio de 2021

Resumen

Palabras clave:
arrecifes; invertebrados arrecifales;
macroalgas; distribución; dominancia;
Caribe Mexicano

En el contexto de obtener una descripción ecológica de los elementos que integran la comunidad coralina de Banco Chinchorro, arrecife del Caribe Mexicano, los datos de invertebrados y macroalgas obtenidos en 2016 y 2017 mediante transectos fotográficos en 36 sitios de la laguna arrecifal fueron analizados. Los indicadores ecológicos utilizados fueron: dominancia, diversidad ecológica, análisis de similitud y ordenación espacial. Las especies con mayor dominancia en la laguna arrecifal fueron: los corales escleractinios *Orbicella annularis* y *Agaricia agaricites* el gorgonáceo *Pseudopterogorgia acerosa* y la macroalga *Lobophora variegata* con más del 35 % de la dominancia total de la laguna arrecifal. Se observó un gradiente de diversidad del sur al norte. Dado ese gradiente, la disposición de las muestras y los resultados del análisis de similitud total, la laguna se dividió en Sur Centro y Norte, que fue analizada con los mismos descriptores ecológicos de la laguna total, con la intención de conocer la estructura interna de cada zona. Este análisis mostró fuertes separaciones y uniones entre diferentes áreas en cada zona sobre todo con lo relacionado a la influencia de los vientos y a las presiones ambientales. Se espera que los resultados obtenidos sirvan como base para estudios detallados que definan áreas prioritarias de conservación en este arrecife.

Abstract

Key words:
reef; reef invertebrate;
macroalgae; distribution; dominance;
Mexican Caribbean

In the context of obtaining an ecological description of the elements that make up Chinchorro Bank community, invertebrate and macroalgae data obtained in 2016 and 2017 through photographic transects in 36 sites of the reef lagoon were analyzed. The ecological indicators used were dominance, ecological diversity, cluster and spatial ordination analysis. The species with greater dominance in the reef lagoon were: *Orbicella annularis* and *Agaricia agaricites* for the hard corals, *Pseudopterogorgia acerosa* for the soft corals and *Lobophora variegata* for the macroalgae; these species represented more than 35 % of whole dominance in the reef lagoon. A diversity gradient south - north was observed. Given this gradient, the sample disposition and the results of the total cluster analysis, the lagoon was divided into South Central and North, which was analyzed with the same ecological descriptors of the total lagoon, to know the internal structure of each zone. This analysis showed strong separations and unions between different areas in each zone, especially with regard to the influence of winds and environmental pressures. The results are expected to serve as a basis for detailed studies that serve to define conservation areas priority in this reef.

Introducción

La dominancia es un atributo de las comunidades que permite destacar las especies más abundantes (Rützler y MacIntyre, 1982; Díaz *et al.*, 2000), en consecuencia, es favorable para determinar la especie dominante; independientemente de que los factores del ambiente prevalecientes puedan o no fomentar altas diversidades (Roman, 2018). La dominancia es más compleja que la simple ausencia de alta diversidad, ya que los rasgos biológicos distintivos de la especie dominante juegan un papel notable en los sucesos locales (González-Solis *et al.*, 2018; Torruco *et al.*, 2018). Además, dado que relativamente pocas especies alcanzan alta dominancia, es posible explorar el fenómeno de baja diversidad por el examen de la coexistencia, permanencia, frecuencia y las características de las especies.

Los arrecifes coralinos del Caribe son citados como ejemplo de ecosistemas que albergan una gran riqueza de especies y alta diversidad (Porter, 1974). Muchos de ellos tienen grandes secciones dominadas por una o pocas especies como: los corales duros *Orbicella annularis* (Ellis & Solander, 1786), *Madracis myriaster* (Milne Edwards & Haime, 1850) y *Acropora palmata* (Lamarck, 1816) (Bak, 1977; Scatterday, 1977; Liddel y Ohlhorst, 1987) las cuales dan albergue y refugio a muchas otras especies, por lo que su presencia y abundancia determina la estructura comunitaria de los arrecifes coralinos (Torruco *et al.*, 2003; Gaby-Hukubum *et al.*, 2016; Duran *et al.*, 2018).

La zonación de los arrecifes coralinos ha sido mencionada desde los inicios del estudio de estos sistemas (Darwin, 2006; McNeill *et al.*, 2006), dando lugar a generalizaciones que han permitido un conocimiento más amplio de ellos; sin embargo, cada arrecife puede tener diferencias importantes en estas distintas zonas bióticas, lo cual hace necesario, con la tecnología actual acceder al conocimiento de estas. Una de ellas es el uso de transectos fotográficos, que permiten revisar la "muestra" sin el límite de tiempo de buceo y las veces que sean necesarias (Weinber, 1981; Ohlhorst *et al.*, 1988).

Bajo el objetivo de identificar zonas con características similares o diferentes, que permitan un tratamiento diferencial en cuanto a su administración, se realizó un análisis con varios grupos de invertebrados y macroalgas presentes de la laguna arrecifal de Banco Chinchorro en el Caribe mexicano. La importancia de esta laguna es múltiple, desde sus usos diferenciales, sus diferentes biotopos y desde luego su extensión que le confiere pertenecer al arrecife oceánico más

grande de México (Instituto de Ecología (INECOL), 2000; Torruco *et al.*, 2019). De ahí derivamos nuestra hipótesis que propone que no existe diferencia espacial o temporal entre las zonas de la laguna arrecifal y que en consecuencia la diversidad y estructura de los diferentes grupos tendrían poca variación. La importancia de comprobar esta hipótesis está definida en la gestión de destinar esfuerzos de conservación y manejo en toda el área o sólo en algunas zonas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El arrecife de Banco Chinchorro en el Caribe Mexicano está localizado a 24 km al sureste de la Península de entre las coordenadas 18°47'-18°23'LN y 87°14'-78°27'W. El arrecife está separado de la costa por un canal de más de 1000 m de profundidad y corrientes marinas de cuatro nudos en promedio. El arrecife tiene la forma de un atolón con cuatro islas: dos en el norte, una en el centro y otra en el sur, posee una gran variedad de hábitats incluyendo una intrincada red de islotes de mangle, un somero microsistema lagunar en la isla más grande (Cayo Centro), una laguna arrecifal somera y arrecifes de borde fisiográficamente complejos (Jordan y Martín, 1987). El arrecife tiene un mayor crecimiento coralino en la zona de barlovento, específicamente en la parte sur. El área total que comprende la laguna arrecifal y la rompiente es de 814,2 km², lo que lo convierte en el sistema arrecifal más grande de México (González-Solis *et al.*, 2003).

Metodología de muestreo

El complejo arrecifal se dividió en tres zonas principales: Norte, Centro y Sur. Se establecieron 36 estaciones posicionadas con GPS Garmin 61616 y repartidas de la siguiente manera: 16 en la zona Sur, 17 en la zona Centro y tres en la zona Norte (figura 1), las coordenadas de cada sitio se presentan en la tabla 1. La diferencia de estaciones entre las zonas Sur y Centro respecto a la Zona Norte fue principalmente debido a la dificultad de navegación en ésta última por los bajos de arena y escasa profundidad.

Los muestreos fueron realizados en junio de 2016 y 2017. El método utilizado para la colecta de datos fue mediante transectos fotográficos aleatorios de 20 m. Cada fotografía fue tomada perpendicularmente a 0,80 m del fondo marino, una a la izquierda y la siguiente a la derecha a cada metro de la línea guía. Cada transecto consistió en 20 fotografías que cubrieron cada una un área de 1904 cm² (56 x 34 cm) (Bohnsack, 1979;

Liddell y Ohlhorst, 1987; Torruco, 1995; Leujak y Ormond, 2007). Las fotografías fueron tomadas con una cámara analógica Nikonos V y el total de fotografías analizadas fue de 1296 (246,758 m²) en ambos años. Para obtener la superficie de cobertura de las especies, a cada fotografía fue superpuesta una rejilla con divisiones de 10 cm²; con este método es posible obtener la superficie de cobertura viva y el sustrato no vivo (piedras o restos de organismos) contando las divisiones donde se presentaba cada especie; el método de transectos fotográficos es de naturaleza no extractiva, lo cual

es un beneficio para los corales y otros organismos arrecifales cuyo crecimiento es lento. Junto con los transectos se realizó una colecta selecta de fragmentos de especies para su identificación en el laboratorio, utilizando diferente bibliografía dependiendo de la *phyla* identificada (Taylor, 1960; Bayer, 1961; Huerta y Garza, 1980; Zlatarski y Estalella, 1982; Guzmán y Cortés, 1985; Littler *et al.*, 1989; Gómez, 1992; Humann y Deloach, 2002; Herrera-Moreno y Betancourt-Fernández, 2002; Wynne, 2011; Cairns y Kitahara, 2012; González-Solis *et al.*, 2018, entre otros).

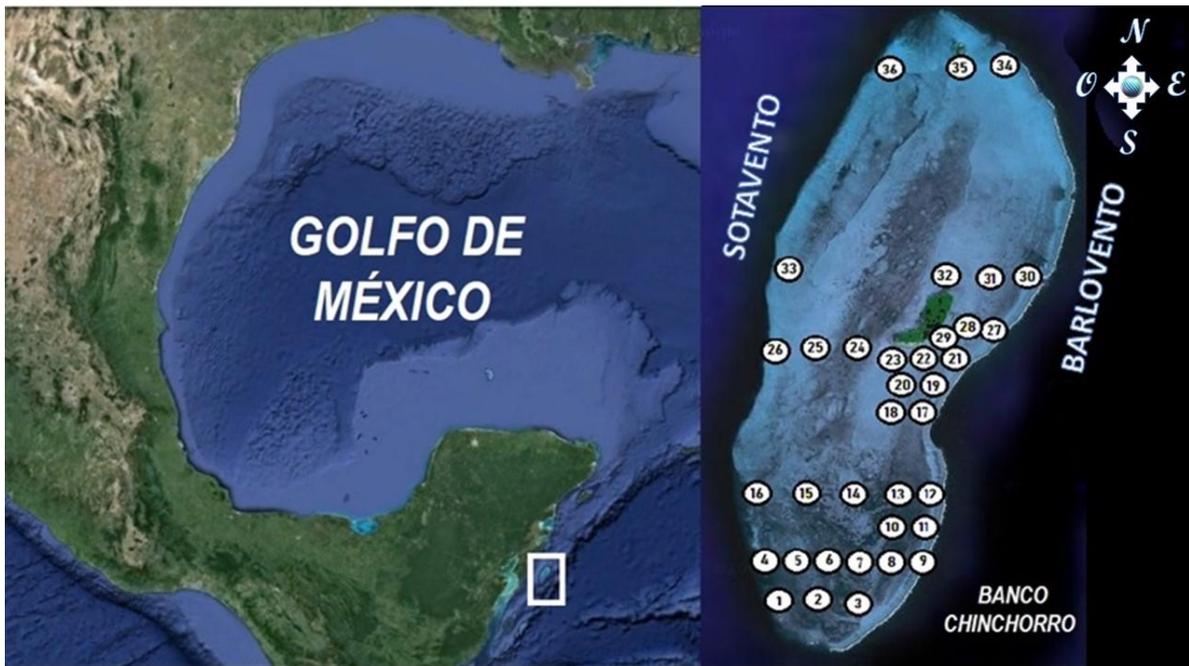


Figura 1 Localización del área de estudio. Se muestra la posición de los puntos de muestreo.

Análisis estadísticos

Se realizaron bajo dos perspectivas: a). Inicialmente se realizó una comparación entre las matrices de cobertura para cada año, para determinar si había diferencias a través del tiempo mediante un ANDEVA de una vía. b). Al no encontrarse diferencias significativas, se conformó una sola matriz donde se determinaron los parámetros comunitarios más comunes en las estaciones.

Inicialmente se obtuvo el índice del valor de Importancia (IVI) (Orlocí, 1990) para cada especie para conocer la dominancia de cada una de ellas en la comunidad. La matriz de cobertura fue sometida a un análisis de diversidad mediante el índice de

Shannon-Wiener (Magurran, 1988). Posteriormente se evaluó la *J'* de Pielou (1984). Se realizó un análisis de similitud de estaciones mediante el criterio de Bray-Curtis (Orlocí, 1978; 1990) unidos por el algoritmo flexible de Lance y Williams (Gauch *et al.*, 1981), haciendo alusión a que en los estudios biogeográficos se utiliza el 50 % de endemismos para separar una provincia de otra (Briggs, 1974; Briggs, 1995; Pielou, 1979; Longhurst, 1998; Okolodkov, 2010), en este análisis dado que es un índice de igualdad entre sitios utilizamos un corte también del 50 %. Finalmente, para conocer la distribución espacial de las especies se auxilió de un análisis de coordenadas principales (Pielou, 1984).

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo en la laguna arrecifal de Banco chinchorro y su profundidad.

Sitio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Prof. (m)	Sitio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Prof. (m)
1	18°24'7,84"	87°24'24,49"	6,0	19	18°32'29,27"	87°19'14,6"	6,0
2	18°23'55,41"	87°23'23,83"	2,5	20	18°32'36,39"	87°20'25,07"	3,7
3	18°23'36,13"	87°22'34,31"	11,0	21	18°33'16,06"	87°18'29,07"	4,5
4	18°25'39,28"	87°25'20,9"	8,0	22	18°33'21,61"	87°19'5,83"	3,5
5	18°25'24,55"	87°24'7,66"	7,5	23	18°33'44,9"	87°20'28,66"	9,8
6	18°25'19,4"	87°23'32,66"	5,0	24	18°34'18,21"	87°21'23,37"	3,0
7	18°25'7,61"	87°22'38,88"	7,2	25	18°34'15,2"	87°23'1,84"	3,5
8	18°24'53,19"	87°21'53,51"	8,0	26	18°34'31,84"	87°24'52,05"	4,0
9	18°25'7,61"	87°22'38,88"	3,5	27	18°37'44,92"	87°16'51,31"	3,0
10	18°26'40,47"	87°21'43,76"	2,5	28	18°35'14,57"	87°15'9,22"	7,5
11	18°26'24,76"	87°20'23,56"	1,5	29	18°34'32,07"	87°15'35,22"	6,0
12	18°29'15,25"	87°19'5,96"	1,2	30	18°35'23,52"	87°15'59,63"	3,0
13	18°29'7,44"	87°19'48,7"	2,9	31	18°35'58,35"	87°17'27,84"	6,8
14	18°29'23,55"	87°21'35,21"	3,0	32	18°36'18,79"	87°18'32,37"	2,4
15	18°29'36,32"	87°24'11,26"	3,5	33	18°37'14,98"	87°24'20,92"	9,3
16	18°29'39,03"	87°26'3,78"	5,6	34	18°44'12,33"	87°16'23,47"	2,5
17	18°31'45,16"	87°19'29,63"	10,5	35	18°43'32,52"	87°18'42,22"	3,0
18	18°31'56,41"	87°20'20,5"	3,3	36	18°43'44,34"	87°21'11,11"	2,0

Resultados

Cobertura

Cinco grupos pertenecientes a tres *phyla* (Divisiones) de macroalgas (Chlorophyta, Ochrophyta y Rhodophyta) y dos de invertebrados (Porifera (esponjas) y Cnidaria (corales duros, gorgonáceos e hidrozoarios)) fueron registrados (Anexo I), el

total de especies registradas fue de 39. En sólo los sitios 1, 13, 14, 15, 16, 28 y 36 tuvieron mayor cobertura viva, que va desde 59 % (sitio 1), hasta 83,8 % (sitio 14) y el 80,5 % de los sitios tiene mayor sustrato no vivo (figura 2). En Banco Chinchorro, la especie que alcanzó el valor de cobertura media más alto (25,38 cm²) y la de mayor frecuencia (42,22 %) fue *Orbicella annularis*.

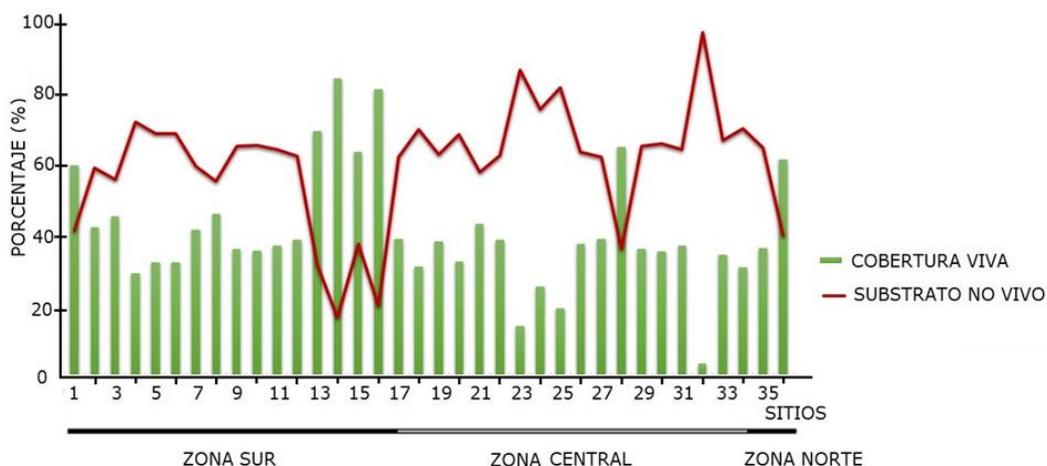


Figura 2. Cobertura viva y sustrato inerte en la laguna arrecifal de Banco Chinchorro. La mayor cobertura se presentó en la zona sur, mientras que la menor en la zona centro; las estaciones que mostraron menor sustrato inerte, fue en la zona sur y la que alcanzó más de 90 % de sustrato no vivo se presentó en la zona central.

Tabla 2. Dominancia de las especies de macroalgas e invertebrados en la laguna arrecifal de Banco Chinchorro, México

Especies	Total	Sur	Centro	Norte
Corales duros				
<i>Orbicella annularis</i>	17,2	24,9	6,15	24,7
<i>Agaricia agaricites</i>	5,65	5,85	5,6	4,8
<i>Acropora palmata</i>	2,95	1,35	5,7	-
<i>Siderastrea radians</i>	2,65	3,7	1,8	-
<i>Porites porites</i>	2,6	2,35	3,4	-
<i>Porites furcata</i>	2,55	5,25	-	-
<i>Pseudodiploria strigosa</i>	2,55	2,95	1,25	7,1
<i>Siderastrea siderea</i>	2,4	-	4,05	9,1
<i>Montastraea cavernosa</i>	2,25	2,8	2	-
<i>Porites astreoides</i>	1,95	2,9	1,25	-
<i>Pseudodiploria clivosa</i>	0,95	1,1	0,95	-
<i>Dichocoenia stokesii</i>	0,7	1,45	-	-
<i>Diploria laberyntiformis</i>	0,4	0,8	-	-
<i>Colpophyllia natans</i>	0,4	3,3	-	-
<i>Eusmilia fastigiata</i>	0,4	0,85	-	-
<i>Manicina areolata</i>	0,35	-	0,85	-
Corales Blandos				
<i>Antillogorgia acerosa</i>	6,45	3,45	8,1	15,75
<i>Gorgonia flabellum</i>	4,45	3,45	6,85	-
<i>Eunicea mammosa</i>	3,6	1,9	5,3	6,35
<i>Gorgonia ventalina</i>	2,9	-	7,2	-
<i>Eunicea flexuosa</i>	2,3	0,75	4,85	-
<i>Plexaura homomalla</i>	2,3	0,95	3,35	-
<i>Plexaurella grisea</i>	1,45	1,2	2	-
<i>Briareum asbestinum</i>	1,3	1	-	9,75
<i>Antillogorgia bipinnata</i>	1,25	2,5	-	-
Hidrozoarios				
<i>Millepora complanata</i>	1,8	-	4,35	-
<i>Millepora alcicornis</i>	0,55	1,1	-	-
Esponjas				
<i>Callyspongia plicifera</i>	4,65	1,2	5,5	22,4
<i>Haliclona tubifera</i>	1,6	0,85	3	-
<i>Aplysina fistularis</i>	1,15	-	2,85	-
<i>Chondrilla núcula</i>	1,05	-	2,6	-
Macroalgas				
<i>Lobophora variegata</i>	7,4	13,1	1,3	-
<i>Turbinaria turbinata</i>	2,25	0,75	4,8	-
<i>Dictyota dichotoma</i>	1,75	3,4	-	-
<i>Halimeda incrassata</i>	1,55	1,75	1,6	-
<i>Palisada perforata</i>	1,1	1,55	0,85	-
<i>Udotea flabellum</i>	0,75	0,85	0,8	-
<i>Penicillus capitatus</i>	0,7	0,7	0,85	-
<i>Caulerpa cupressoides</i>	0,35	-	0,8	-

Dominancia

La dominancia se debe a cinco especies (con el 39,04 % del IVI de todas las especies), que son en orden de importancia: el coral duro *Orbicella annularis*, la macroalga *Lobophora variegata* (J.V. Lamoroux) Womersley ex E.C. Oliveira, 1977, el coral blando *Antilloorgia acerosa* (Pallas, 1766), el coral duro *Agaricia agaricites* (Linnaeus, 1758) y la esponja *Callyspongia (Cladochalina) plicifera* (Lamarck, 1814) (tabla 2). La mayoría de las especies presentan valores menores.

Diversidad ecológica

La mayor riqueza específica se obtuvo en los sitios 10 y 33 (siete especies) mientras que el más bajo en el sitio 23 (una especie) (figura 3a). Con relación a la diversidad ecológica, se presentan valores desde 0 hasta 2,6 bits-ind⁻¹. El valor más alto se obtuvo en la estación 33 (2,6 bits-ind⁻¹) que corresponde al inicio del borde de sotavento, en donde existe alternancia de corales masivos y alcionarios. El sitio con el valor más bajo fue la estación 23 donde solo se registró una especie (0 bits-ind⁻¹) (figura 3b).

Similitud

La similitud dada por el índice de Bray Curtis, de los sitios de muestreo, forman nueve grupos a un nivel de 50 %; el mayor de ellos incluye ocho estaciones, de ellas seis pertenecen a la zona sur, una a la parte central en barlovento y una de la zona norte en sotavento. El grupo II reúne a cinco sitios de los cuales tres se ubican en la zona sur, una en la parte central en barlovento y una en la zona norte en sotavento. El grupo III es exclusivo de la zona sur. El grupo IV está formado por dos sitios de la zona sur en Barlovento y uno en el centro de la zona central. El grupo V tiene tres sitios exclusivos de la zona centro dos de ellas cercanas a la isla de Cayo Centro y una de ellas en la orilla de barlovento. El grupo VI tiene cinco estaciones, casi todas ellas de la zona centro, con excepción de un sitio ubicado en la zona sur. El grupo VII tiene cuatro localidades, cercanas entre sí en la zona central con excepción de una de ellas que se sitúa en la zona de sotavento.

El grupo VIII lo forman dos estaciones una en la zona centro y la otra en la zona norte. El último grupo está formado por dos sitios de la zona central, una en el borde de barlovento y la otra en el de sotavento (figura 4a).

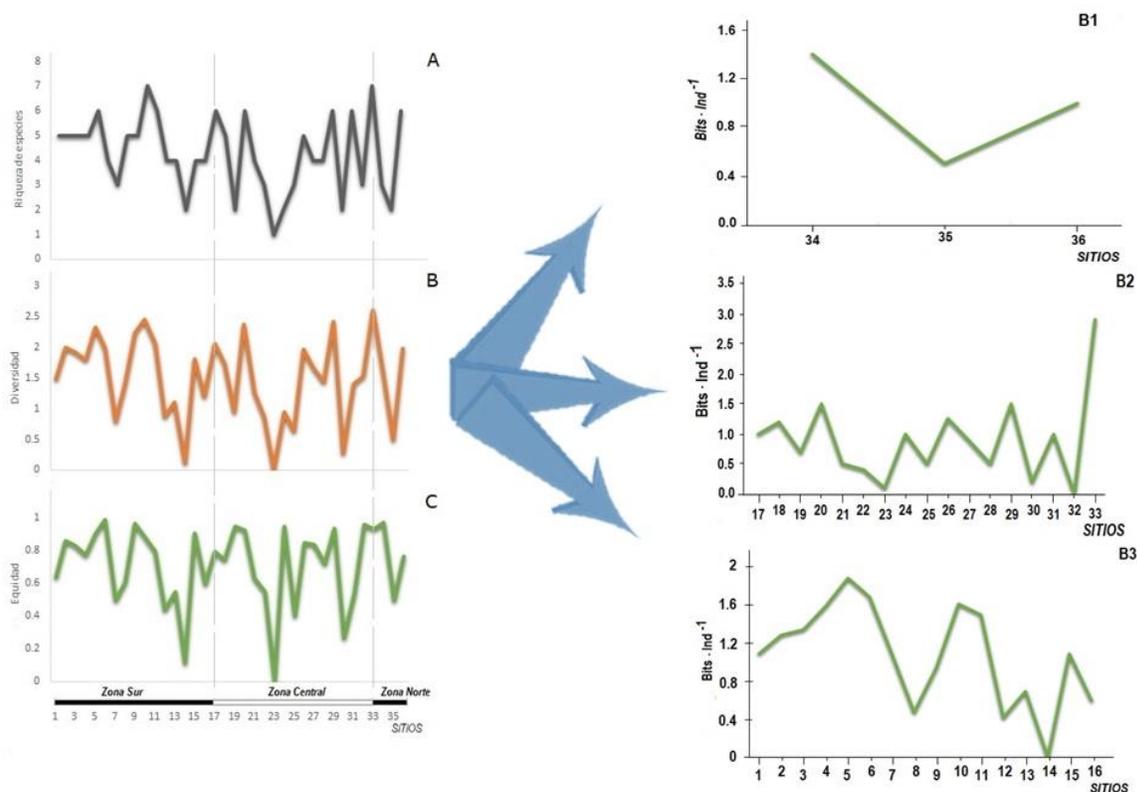


Figura 3. Riqueza de especies (A), diversidad (B) y Equidad (C) de los sitios de muestreo en la laguna arrecifal de Banco Chinchorro; Los mayores valores de estos elementos se presentaron tanto en la zona sur como en la zona central, los más bajos fueron de la zona central. Se muestra la diversidad en cada zona: Norte (B1), Centro (B2) y Sur (B3).

Distribución espacial

Con relación a la distribución espacial de las especies, de manera general se presentan 39 especies de flora y fauna, la mayoría de ellas se congregan en el origen de los tres ejes, formando un gran grupo; la especies *Halimeda incrassata* (J. Ellis) J.V. Lamouroux 1816 y *Lobophora variegata*, muestran

una relación muy estrecha, mientras que las especies: *Callyspongia (Cladochalina) plicifera*, *Antillologorgia acerosa*, *Agaricia agaricites*, *Orbicella annularis*, *Eunicea mammosa* Lamouroux, 1816, *Eunicea flexuosa* (Lamouroux, 1821) y *Gorgonia flabellum* Linnaeus, 1758 quedan fuera de este conglomerado (figura 5).

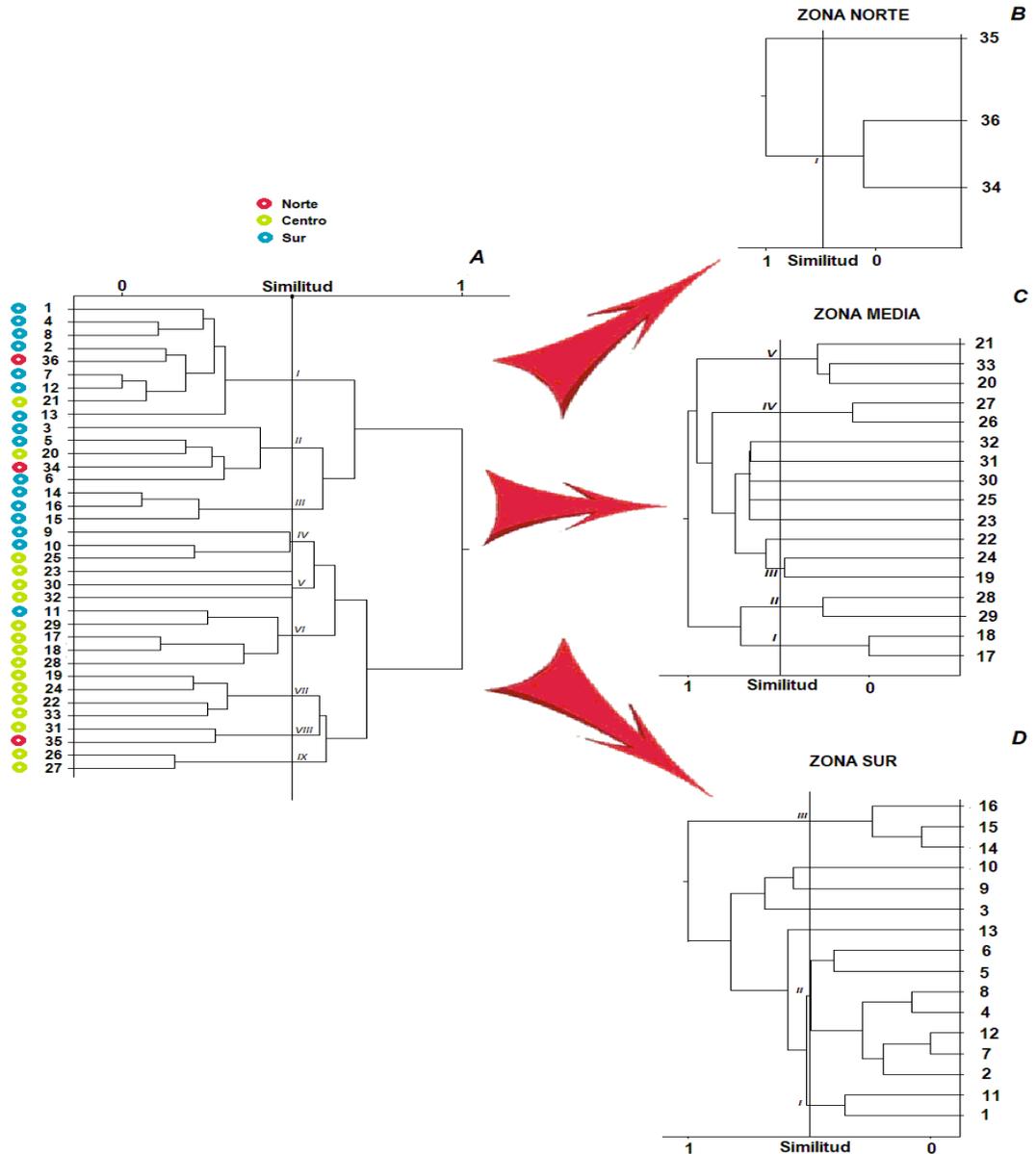


Figura 4. A. Dendrogramas de similitud dado por el índice de Bray-Curtis. (A) laguna arrecifal de Banco Chinchorro, donde se muestra la alta similitud de los sitios que se encuentran en áreas cercanas. (B) Zona norte. (C) Zona central. (D) Zona sur.

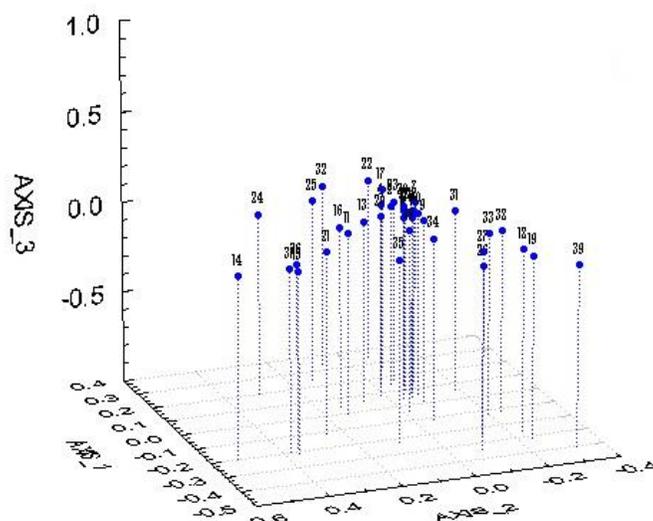


Figura. 5. Ordenación espacial de las especies de invertebrados y macroalgas encontradas en la laguna arrecifal de Banco Chinchorro la Laguna arrecifal: 1. *Aplysina fistularis*, 2. *Callyspongia plicifera*, 3. *Chondrilla núcula*, 4. *Haliclona tubifera*, 5. *Caulerpa cupressoides*, 6. *Dictyota dichotoma*, 7. *Halimeda incrassata*, 8. *Lobophora variegata*, 9. *Palisada perforata*, 10. *Penicillus capitatus*, 11. *Turbinaria turbinata*, 12. *Udotea flabellum*, 13. *Millepora alcornis*, 14. *Millepora complanata*, 15. *Acropora palmata*, 16. *Agaricia agaricites*, 17. *Colpophyllia natans*, 18. *Dichocoenia stokesii*, 19. *Diploria laberyntiformis*, 20. *Eusmilia fastigiata*, 21. *Manicina areolata*, 22. *Montatrea cavernosa*, 23. *Orbicella annularis*, 24. *Porites astreoides*, 25. *Porites furcata*, 26. *Porites porites*, 27. *Pseudodiploria clivosa*, 28. *Pseudodiploria strigosa*, 29. *Siderastrea radians*, 30. *Siderastrea siderea*, 31. *Antillogorgia acerosa*, 32. *Antillogorgia bipinnata*, 33. *Briareum asbestinum*, 34. *Eunicea flexuosa*, 35. *Eunicea mammosa*, 36. *Gorgonia flabellum*, 37. *Gorgonia ventalina*, 38. *Plexaura homomalla*, 39. *Plexaurella grisea*.

Estructura entre las zonas

Zona norte

Es la menos representada, ya que la presencia de extensas llanuras arenosas y de vegetación depauperada limita la aplicación de esta metodología específica. En esta área, las especies con mayor dominancia son: *Orbicella annularis*, *Callispongia (Cladochalina) plicifera* y *Antillogorgia acerosa*, que en conjunto alcanzan el 62,85 % (tabla 2).

Los valores de diversidad más altos se ubican en las estaciones de ambas rompientes (figura 3 b1), la profundidad se encuentra entre 2 y 7 m. A pesar de los escasos datos, el dendograma exhibe también una asociación de ambas rompientes (figura 4b); Los resultados que aporta el análisis de Coordenadas Principales, solo presenta una fuerte asociación entre las especies *Pseudodiploria strigosa* (Dana, 1846) y *Siderastrea siderea* (Ellis & Solander, 1786), las otras seis quedan alejadas sin ningún patrón (figura 6a).

Zona Central

En la zona central la especie más dominante es *Antillogorgia*

acerosa (8,1 %), seguida de *Gorgonia ventalina* (7,2 %); sin embargo, la magnitud del Valor de Importancia de ésta última no presenta una gran diferencia con otras especies cercanas. Esta zona presenta el valor de diversidad más alto la estación 33 (3,2 bits-ind⁻¹) y los más bajos en la 23 y 32 (0 bits-ind⁻¹); la profundidad va desde 2 hasta 9 m (figura 3b2).

Los agrupamientos obtenidos con el análisis de coordenadas principales muestran cinco asociaciones. La primera y la segunda unen las estaciones que caracterizan el borde arrecifal de barlovento, (estaciones: 17, 18, 28,29) ambas asociaciones se reúnen posteriormente a niveles más bajos. El tercer grupo señala parte del área sur de Cayo Centro. El cuarto grupo identifica los bordes tanto de sotavento como de barlovento del área central de Cayo Centro y el último grupo determinan también ambos bordes. Las estaciones restantes permanecen solitarias (estaciones: 23, 25, 30, 31 y 32), pero forman una agrupación heterogénea a niveles menores de similitud (figura 4c). El esquema de ordenación de las especies forma grupos muy pequeños pero todos ellos cercanos; la especie *Agaricia agaricites*, se aleja lo suficiente como para considerarla como solitaria (figura 6b).

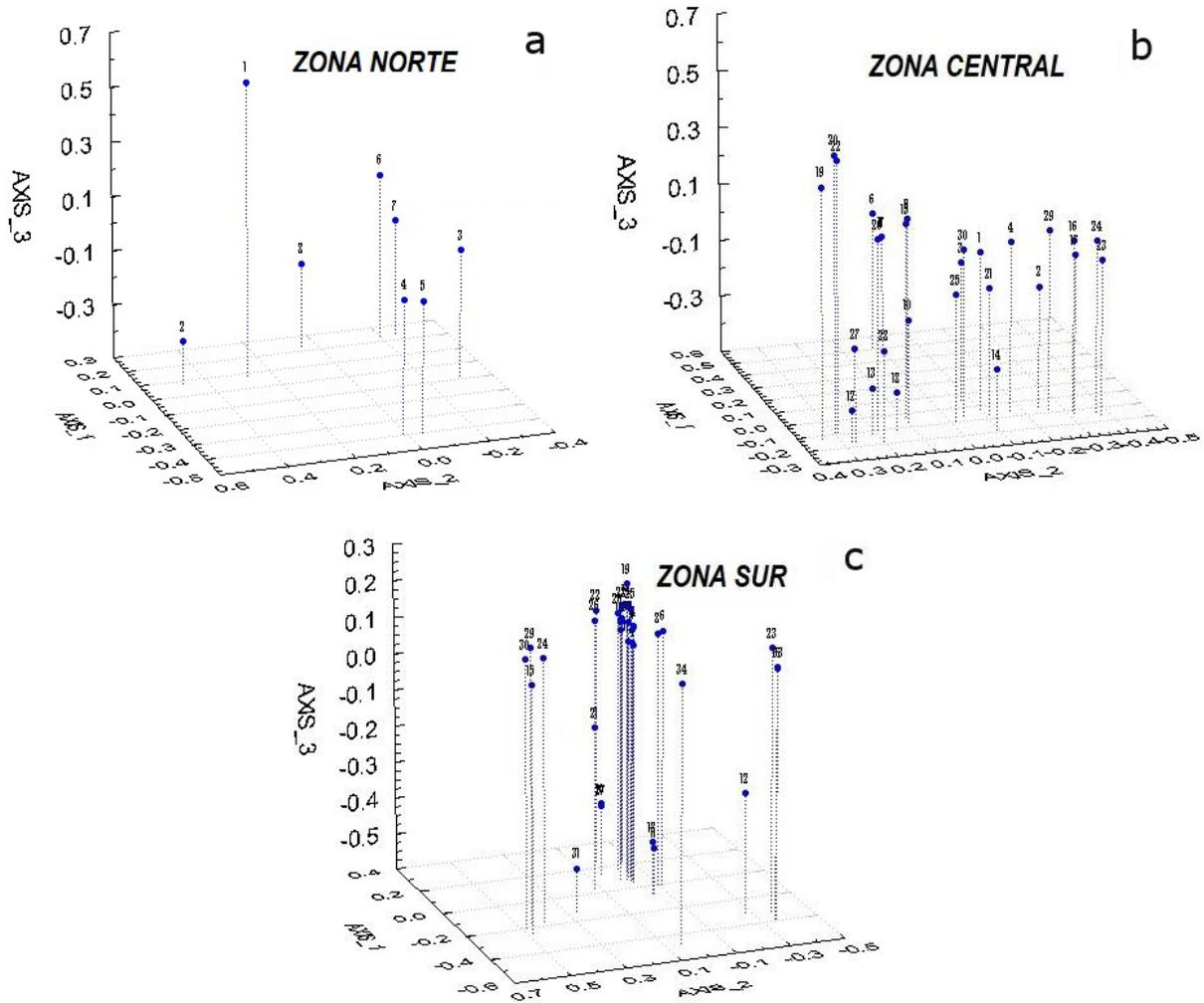


Figura 5. Ordenación espacial de las especies de invertebrados y macroalgas encontradas en la laguna arrecifal de Banco Chinchorro. (a) Laguna arrecifal : Zona norte : 1. *Callyspongia plicifera*, 2. *Agaricia agaricites*, 3. *Orbicella annularis*, 4. *Pseudodiploria strigosa*, 5. *Siderastrea siderea*, 6. *Antillogorgia bipinnata*, 7. *Briareum asbestinum*, 8. *Eunicea mammosa*. (b) Zona central: 1. *Aplysina fistularis*, 2. *Callyspongia plicifera*, 3. *Chondrilla nucula*, 4. *Haliclona tubifera*, 5. *Caulerpa cupressoides*, 6. *Halimeda incrassata*, 7. *Lobophora variegata*, 8. *Palisada perforata*, 9. *Penicillus capitatus*, 10. *Turbinaria turbinata*, 11. *Udotea flabellum*, 12. *Millepora complanata*, 13. *Acropora palmata*, 14. *Agaricia agaricites*, 15. *Manicina areolata*, 16. *Montastraea cavernosa*, 17. *Orbicella annularis*, 18. *Porites astreoides*, 19. *Porites porites*, 20. *Pseudodiploria clivosa*, 21. *Pseudodiploria clivosa*, 22. *Siderastrea radians*, 23. *Siderastrea siderea*, 24. *Antillogorgia acerosa*, 25. *Eunicea flexuosa*, 26. *Eunicea mammosa*, 27. *Gorgonia flabellum*, 28. *Gorgonia ventalina*, 29. *Plexaura homomalla*, 30. *Plexaurella grisea*. (c) Zona sur: 1. *Callyspongia plicifera*, 2. *Haliclona tubifera*, 3. *Dictyota dichotoma*, 4. *Halimeda incrassata*, 5. *Lobophora variegata*, 6. *Palisada perforata*, 7. *Penicillus capitatus*, 8. *Turbinaria turbinata*, 9. *Udotea flabellum*, 10. *Millepora alcicornis*, 11. *Millepora complanata*, 12. *Acropora palmata*, 13. *Agaricia agaricites*, 14. *Colpophyllia natans*, 15. *Dichocoenia stokesii*, 16. *Diploria labyrinthiformis*, 17. *Eusmilia fastigiata*, 18. *Manicina areolata*, 19. *Montastrea cavernosa*, 20. *Orbicella annularis*, 21. *Porites astreoides*, 22. *Porites furcata*, 23. *Porites porites*, 24. *Pseudodiploria clivosa*, 25. *Pseudodiploria strigosa*, 26. *Siderastrea radians*, 27. *Antillogorgia acerosa*, 28. *Antillogorgia bipinnata*, 29. *Briareum asbestinum*, 30. *Eunicea flexuosa*, 31. *Eunicea mammosa*, 32. *Gorgonia flabellum*, 33. *Plexaura homomalla*, 34. *Plexaurella grisea*.

Zona Sur

Para la zona sur, la dominancia de *Orbicella annularis* sigue de manifiesto (25 % del total), le sigue *Lobophora variegata* (13,1 %), las demás especies tienen valores inferiores (tabla 2). El valor de diversidad más alto lo presenta la estación 5; sin embargo, no representa ningún pico que destaque considerablemente, el valor más bajo es de la estación 14 cercana a la parte media. Los valores de profundidad estuvieron dentro del intervalo de 1 hasta 11,7 m (figura 2b3). La clasificación de estaciones obtenida con esta fracción representa sólo tres asociaciones: la primera es un par de sitios que une ambos bordes; la segunda es más amplia ya que incluye siete sitios: la mayoría con uniones en pares fuertes y que principalmente representan la zona media; la última asociación involucra una línea de sitios que va desde la parte media hasta el borde de sotavento. Las demás estaciones quedan solitarias a este nivel; sin embargo, a niveles inferiores también forman una sub-agrupación que puede caracterizar un área donde se alternan crestas coralinas y surcos arenosos. (figura 4d). La ordenación muestra dos grandes asociaciones que incluyen especies como: *Eusmilia fastigiata* (Pallas, 1766), *Gorgonia flabellum*, *Porites astreoides* (Lamarck, 1816) y *Pseudodiploria strigosa*, el segundo involucra a: *Orbicella annularis*, *Turbinaria turbinata* (Linnaeus) Kuntze, 1898, *Millepora alcicornis* Linnaeus, 1758, *Haliclona tubifera* (George & Wilson, 1919) entre otras y como especies solitarias quedan: *Lobophora variegata*, *Porites porites* (Pallas 1766), *Halimeda incassata*, *Palisada perforata* (Bory de Saint-Vicent) K,W,Nam, 2007, *Eunicea mammosa*, *Colpophyllia natans* (Houttuyn, 1772), *Agaricia agaricites*, *Siderastrea radians* (Pallas, 1766) y *Porites furcata* Lamarck, 1816 (figura 6c).

Discusión

La especie que canaliza la mayor cantidad de recursos en su provecho (principalmente espacio) y por ende la más dominante es *Orbicella annularis*, lo cual es muy semejante a lo reportado por Scaterday (1977) para las Antillas Holandesas. Sin embargo, en zonas con cierto grado de disturbio como es el área Central y la zona Norte (impacto pesquero y de utilización para el centro (Torruco y González, 2002) y relleno por el sedimento que trae la corriente del Caimán (Merino, 1997) para el norte, respectivamente), el esquema cambia drásticamente y otras especies como *Antillogorgia acerosa* y *Callispongia plicifera* reemplazan a *Orbicella annularis* en su dominancia. En el primer caso, al encontrarse substrato sólido disponible, los gorgonáceos son los que presentan mayor agresividad y en el segundo al faltar un substrato sólido, el

grupo de las esponjas tienen cierta ventaja.

Logan (1984) puntualiza la importancia de la competencia interespecífica en la distribución espacial de los corales, e identifica a la especie *Orbicella annularis* como altamente agresiva en su medio natural. En contraparte, *Porites porites* resulta ser débilmente agresiva. Liddel (com. pers. 1993) al referirse a las jerarquías de agresividad establecidas por Lang (1973), confirma que los escleractinios de mayor agresividad son los menos abundantes en las zonas arrecifales de Jamaica y de algunos arrecifes del Caribe; sin embargo, en Banco Chinchorro *Orbicella annularis* es abundante.

Logan (1984) y Lang (1973) han mencionado que dicha agresividad es justificada sólo en el caso de coexistencia de especies de lento crecimiento o poco fecundas en la comunidad arrecifal, lo que a su vez evita que se manifiesten como los elementos dominantes de la misma (Ferrari et al., 2012). Sin embargo, en algunas especies esta característica agresiva sí las lleva a una clara dominancia de la comunidad arrecifal como es el caso de *Agaricia agaricites* que en este estudio es medianamente dominante.

Jordan (1979) identifica a *Gorgonia flabellum* como la especie dominante de una comunidad de alcionarios en Puerto Morelos (Quintana Roo, México) y menciona que dado que las plánulas de alcionarios se fijan preferentemente en grietas y fisuras pequeñas; en Chinchorro, es en los cabezos de coral muertos y en la basura arrecifal (fragmentos coralinos) donde se localizan mayores áreas propicias para su desarrollo. *G. flabellum* presenta una alta dominancia en la zona central, lo que podría tomarse como una evidencia cualitativa de una gran competencia interespecífica, probablemente por el espacio (Connell, 1976), ya que esta zona presenta extensas llanuras arenosas con vegetación sumergida y fragmentos coralinos.

La agresión interespecífica puede ser sólo uno del gran número de factores los cuales influyen en la distribución espacial y zonación de los arrecifes de coral en Banco Chinchorro. Se podría considerar que en condiciones normales las interacciones coralinas conforman una jerarquía casi lineal con algunas excepciones (Lang, 1971; Connell, 1975). A pesar de esto, el grupo que presenta mayor éxito en la colonización de áreas arrecifales con escasos organismos son los alcionarios, ya que son los mejores representados en zonas con estas características.

En relación con las áreas predefinidas (figura 4), estas también presentan diferencias muy evidentes: el análisis multifactorial

separa primero grandes áreas y con mayor similitud áreas como las rompientes, el borde y el centro de la laguna arrecifal. De hecho, estos datos confirman lo encontrado parcialmente por Chávez e Hidalgo (1984), Jordan y Martín (1987) y Torruco *et al.* (2003), al definir áreas o biotopos con fuertes diferencias ecológicas.

A pesar de que el análisis de los resultados muestra una tendencia de gradientes o variación entre los valores de riqueza específica y diversidad entre las estaciones; el análisis multifactorial identifica relaciones sutiles entre los sitios para ambos grupos de datos, la estructura espacial de especies que presenta el arrecife posterior y la parte sur de la laguna es muy similar, mientras que la porción central de la laguna presenta una estructura espacial parecida a la parte norte y a la pendiente interna, lo que puede determinar un área con iguales características.

Por otro lado, tanto la rompiente anterior como la pendiente muestran grandes afinidades, lo que lleva a considerar condiciones físicas, químicas y biológicas de intervalos muy cercanos, para la fauna y macroalgas consideradas en este estudio. pero se acepta en lo referente a que no existen cambios significativos en la cobertura en ambos años (Torruco *et al.*, 2003; González *et al.*, 2004; Torruco *et al.*, 2020; Torruco *et al.*, 2021). Este estudio muestra resultados que dan evidencia para definir gestiones de conservación y manejo diferenciales para la laguna arrecifal, ya que existen discrepancias entre los elementos analizados en las zonas centro y norte de la laguna arrecifal de Banco Chinchorro. Esperamos que este estudio impulse otras investigaciones que puedan definir la dinámica de esta laguna en otras temporadas del año y que sirvan en conjunto para definir áreas prioritarias definitivas de conservación en esta laguna arrecifal.

Agradecimientos

Queremos hacer extenso nuestro agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Wildlife Conservation Society por los apoyos iniciales para el estudio de este arrecife; así mismo a todas las instituciones que en mayor o menor medida facilitaron el desarrollo de esta investigación.

Referencias

Bak, R.P.M. 1977. Coral reefs and their zonation in Netherlands Antilles. In: Frost, S.H., Weiss, M.P. y Saunders J.B. Editores. *Reef and related Carbonates ecology and sedimentology*. American Association Petroleum Geology, Studies in Geology 4: 3 16. Doi: <https://doi.org/10.1306/St4393C1>.

Bayer, F.M. 1961. *The shallow-water Octocorallia of the West Indian Region*. Martinus Nijoff, The Hague.

Bohnsack, J.A. 1979. Photographic quantitative sampling of hardbottom benthic communities. *Bulletin of Marine Science* 29: 242-252.

Briggs, J.C. 1974. *Marine zoogeography*. McGraw-Hill, New York.

Briggs, J.C. 1995. *Global biogeography*. Elsevier, Amsterdam.

Cairns, S.D. y Kitahara, M.V. 2012. An illustrated key to the genera and subgenera of the recent azoxanthellate Scleractinia (Cnidaria, Anthozoa) with an attached glossary. *ZooKeys* 227: 1-47.

Connell, J.H. 1975. Some mechanism producing structure in natural communities: A model and evidence from field experiment. In: Cody, M.L. y Diamond, J. Editor. *Ecology and evolution of communities*. Belknap Press, Cambridge.

Chávez, E. y E. Hidalgo. 1984. Spatial structure of benthic communities of Banco Chinchorro, México. En: *Advances in reefscience. Joint Meeting I.S.R.S. and Atoll Reef Comm.* University of Miami, Miami.

Connell, J.H. 1976. Competitive interaction and the species diversity of coral. In: Mackie, G.O. Editor. *Colenterate ecology and behaviour*. Plenum Press, New York.

Darwin, Ch. 2006. La estructura y distribución de los arrecifes de coral. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

Díaz, J.M., Sánchez, J. A. y Díaz-Pulido, G. 2000. Distribution and structure of the Southernmost Caribbean coral reef: Golfo de Urabá, Colombia. *Scientia Marina* 64(3): 327-336. Doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.2000.64n3327>.

Duran, A., Shanz, A.A., Burkepile, D.E., Collado-Vides, L., Ferrer, V.M., Palma, L., Ramos, A. y González-Díaz, P. 2018. Fishing, pollution, climate change, and the long-term decline of coral reef off Havana, Cuba. *Bulletin of Marine Science* 94(2): 213-228. Doi: <https://doi.org/10.5343/bms.2017.1061>.

Ferrari, R., González-Rivero, M. y Mumby, P. J. 2012. Size matters in competition between corals and macroalgae. *Marine Ecology Progress Series* 467:77-88. Doi: <https://doi.org/10.3354/meps09953>.

Gaby-Hukubun, W., Munirah-Remir, N. y Delvis-Kapelle, I.V. 2016. The influence of physical and chemical factors to coral reef ecosystem on coastal waters Village Eri, outer Ambon Bay.

- Journal of Water Resources and Ocean Science* 5(3): 28-36. Doi: <https://doi.org/10.11648/j.wros.20160503.11>.
- Gauch, H.G.Jr., Whittaker, R.H. y Singer, S.B. 1981. A comparative study of non-metric ordinations. *Journal of Ecology* 69:135-152. Doi: <https://doi.org/10.2307/2259821>.
- Gómez, P. 1992. Esponjas marinas (Porifera) de la Reserva de la Biosfera de SianKa'an. En: Navarro, D. y Suárez, E. Editores. *Diversidad biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an*, Quintana Roo, México. CIQRO, Chetumal.
- González-Solis, M.A., Torruco, D., Liceaga, M. y Ordaz, J. 2003. The shallow and deep bathymetry of the Chinchorro Bank reef in the Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 73(1): 15-22.
- González, A., Torruco, D. y Corbalá, A. 2004. Morfometría de una población inusual de *Isognomon alatus* (Gmelin, 1791) en la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro y su relación con el ambiente. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 55th Annual Meeting Xel-Ha 491-505.
- González-Solis, M.A., Torruco, D. y Torruco-González, A.D. 2018. Biodiversidad de macroalgas en arrecifes coralinos de la Sonda de Campeche, el Caribe Mexicano y Belice. *Gayana Botánica* 57(1): 501-511. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432018000100501>.
- Guzmán, H.M. y Cortés, J. 1985. Organismos de los arrecifes coralinos de Costa Rica IV. Descripción y distribución geográfica de octocoralarios (Cnidaria: Anthozoa) de la costa del Caribe. *Brenesia* 24:125-173.
- Herrera-Moreno, A. y Betancourt-Fernández, L. 2002. Anémonas (Anthozoa: Actiniaria, Corallimorpharia, Cerianthiaria y Zoanthidae) conocidas para la Hispaniola. *Ciencia y Sociedad* 28 (3): 439-452. Doi: <https://doi.org/10.22206/cys.2002.v27i3.pp439-52>.
- Huerta, L. y Garza, A. 1980. Contribución al conocimiento de la flora marina de la parte sur del litoral de Quintana Roo, México. *Annales Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 23:25-44.
- Humann, P. y Deloach, N. 2002. *Reef creature identification. Florida, Caribbean, Bahamas*. New World Publications, Jacksonville.
- Instituto de Ecología (INECOL). 2000. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, México. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP, México D.F.
- Jordan, D.E. y Martín, E. 1987. Chinchorro: Morphology and composition of a Caribbean Atoll. *Atoll Research Bulletin* 310: 1-33. Doi: <https://doi.org/10.5479/si.00775630.310.1>.
- Jordan, D.E. 1979. An analysis of gorgonian community in a reef calcareous platform on the Caribbean coast of México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 6(1):87-96.
- Lang, J.C. 1971. Interspecific aggression by scleractinian corals. I. The rediscovery of *Scolymia cubensis* (Milne Edwards and Haine). *Bulletin of Marine Science* 21: 952-959.
- Lang, J.C. 1973. Interspecific aggression by scleractinian corals. II. Why the race is not only in the swift. *Bulletin of Marine Science* 23:260-279.
- Leujak, W. y Ormond, R.F.G. 2007. Comparative accuracy and efficiency of six coral community survey methods. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 351: 168-187. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.06.028>.
- Liddell, W.D. y Ohlhorst, S. L. 1987. Patterns of reef community structure, North Jamaica. *Bulletin of Marine Science* 40(2): 311-329.
- Littler, D. S., Littler M. M., Bucher, K.E. y Norris, J. N. 1989. *Marine plants of the Caribbean: A field guide from Florida to Brazil*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Logan, A. 1984. Interspecific aggression in hermatypic corals from Bermuda. *Coral Reef* 3:131-138. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00301957>.
- Longhurst, A. 1998. *Ecological geography of the sea*. Academic Press. San Diego.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New York.
- McNeill, D.F., Budd, A.F., Klaus, J.S. y López-Pérez, R.A. 2006. *Paleoecología y sedimentología de arrecifes coralinos fósiles en la República Dominicana*. Universidad Autónoma de Santo Domingo.
- Merino, I. M. 1997. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrography evidence. *Journal of Marine Systems*. 13: 101-121. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(96\)00123-6](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(96)00123-6).
- Ohlhorst, S.L., Liddell, W.D., Taylor, R.J. y Taylor, J.M. 1988. Evaluation of reef census techniques. *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium* 2: 319-324.
- Okolodkov, Y.B. 2010. *Biogeografía Marina*. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche.

- Orlóci, L. 1978. *Multivariate analysis in vegetation research*. Dr. Junk WBV, The Hage.
- Orlóci, L. 1990. *Ecological program for institutional computing on the MacIntosh*. Ecological Computations Series. SPB. Academic Publishing, The Hage.
- Pielou, E.C. 1979. *Biogeography*. John Wiley & Sons, New York.
- Pielou, E.C. 1984. *The interpretation of ecological data: A primer on classification and ordination*. Wiley, New York.
- Porter, J.W. 1974. Community structure of coral reef on opposite sides of the Isthmus of Panama. *Science* 186:543-545. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.186.4163.543>.
- Roman, J. 2018. The ecology and conservation of Cuba's coastal and marine ecosystem. *Bulletin of Marine Science* 94(2):149-169. Doi: <https://doi.org/10.5343/bms.2017.1164>.
- Rützler, K. y MacIntyre, I.G. 1982. Ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize, I. Structure and communities. *Smithsonian Contributions to Marine Sciences* 12: 1-539. Doi: <https://doi.org/10.5479/si.01960768.12.539>.
- Scatterday, J.W. 1977. Low water emergence of Caribbean Reefs and Effects of exposure on coral diversity observations off Bonaire Netherlands Antilles. In: Frost, S.H., Weiss, M.P. y Saunders, J.B. Editor. *Reefs and Related Carbonates Ecology and sedimentology*. Studies in Geology.
- Taylor WR. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coast of the Americas*. University of Michigan Press, Michigan.
- Torruco, D. 1995. Faunística y ecología de los corales escleractinios en los arrecifes de coral del sureste de México. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Torruco, D. y González, M.A. 2002. Conservation and sustainable development proposal for the Chinchorro Bank reef complex in the Mexican Caribbean. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 53st Annual Meeting Biloxi. US.
- Torruco, D., González-Solis, M.A. y Ordaz, J. 2003. The role of environmental variables in the lagoon coral community structure on the Chinchorro Bank, México. *Bulletin of Marine Science* 73(1):23-36.
- Torruco, D., González-Solis, M.A. y Torruco-González, A.D. 2018. Diversidad y distribución de peces y su relación con variables ambientales, en el sur del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 66(1): 438-456. Doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.26255>.
- Torruco, D., González-Solis, M.A. y Torruco-González, A.D. 2020. Lagoons Reef of Alacranes Reef and Chinchorro Bank: Ocean Reef of Mexican Atlantic. In: Manning, AJ. Editor. *Lagoon Environments Around the World - A Scientific Perspective*. IntechOpen London.
- Torruco D, González-Solis A, Torruco-González AD. 2021. Large-Scale and Long-Term distribution of corals in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea of Mexico and adjacent areas. *Regional Studies in Marine Science* 44: Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101764>.
- Weinberg, S. 1981. A comparison of coral reef survey methods. *Bijdragen tot de Dierkunde* 51(2): 199-218.
- Zlatarski, V. y Martínez-Estalella, N. 1982. *Les Scleractinaires de Cuba avec des données sur les organismes associés. Annex 1*. Editions de l'Académie Bulgare des Sciences. Sofia.
- Wynne, M.J. 2011. *A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: Third revision*. J. Cramer in Borntraeger Science Publishers, Stuttgart.

Citar como: González-Solis, A., Torruco, D. y Torruco-González, A.D. 2021. Distribución de macroalgas e invertebrados bentónicos en la laguna arrecifal del Arrecife de Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. *Intropica* 16(1): *postprint*. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.3938>.