

Cambios de fase entre corales en Banco Chinchorro, complejo arrecifal del Caribe Mexicano

Phase changes between corals in Chinchorro Bank, Mexican Caribbean reef complex

M. Alicia González¹ & Daniel Torruco^{1,*}

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N. Unidad Mérida. Km. 6 Antigua Carretera a Progreso. A.P. 73 CORDEMEX, Mérida, Yucatán, México.

*E-mail: dantor@cinvestav.mx

RESUMEN

Datos de escleractínios y alcionarios en 9 áreas de Banco Chinchorro en dos años no consecutivos (2013 y 2018) fueron analizados en su distribución espacial. La comparación de las semejanzas que presenta la fauna de esas áreas fue determinada mediante el índice de información de segundo orden (Cl_2). Los resultados del Cl_2 muestran diferencias significativas en la estructura espacial y temporal de los dos grupos faunísticos y dan evidencias de diferentes magnitudes de respuestas a las fuerzas controladoras que impactan la distribución espacial en ese ecosistema. Las especies indicadoras de las características del ecosistema son *Mycetophyllia lamarckiana* y *Muricea muricata* para los corales duros y blandos respectivamente; pero de manera general, se percibe un cambio de dominancia en la comunidad de corales escleractínios a octocorales. La combinación y presiones de estas fuerzas hacen al ecosistema más vulnerable a modificaciones que posteriormente no pueden ser revertidos, originando como consecuencia cambios permanentes no deseados o por lo menos que disminuya su capacidad para generar servicios ecosistémicos. Es necesario seguir documentando estas variaciones y transformaciones no deseadas para descubrir causas y en su caso intervenir en un manejo activo hacia configuraciones más deseadas.

Palabras clave: alcionarios, arrecifes de coral, Caribe Mexicano, distribución espacial, escleractínios.

ABSTRACT

Records of the scleractinian and alcyonarian communities in 9 sampling areas of Banco Chinchorro were analyzed in relation to their spatial distribution in two no consecutive years (2013 and 2018). The area similarities comparison was determined by the values of the second order information index. Cluster analysis show strong differences in the spatial structure of the two groups and resulting in different responses to the control forces in the ecosystem. The indicator species of the characteristics of the ecosystem are *Mycetophyllia lamarckiana* and *Muricea muricata* for the hard and soft corals respectively; but in general, a change of dominance in the community of corals from scleractinians to octocorals is perceived. The combination and pressures of these forces make the ecosystem more vulnerable to modifications that cannot be reversed later, resulting in permanent unwanted changes or at least a decrease in its capacity to generate ecosystem services. It is necessary to continue documenting these unwanted alterations and transformations to discover causes and, where appropriate, intervene in an active management towards more desired configurations.

Keywords: alcyonarian, coral reef, Mexican Caribbean, scleractinian, spatial distribution.

INTRODUCCIÓN

En los arrecifes de coral, la distribución espacial o el área de influencia de algún grupo de organismos dentro de un hábitat específico puede describirse en función de los sustratos que ocupa, ya sean biológicos o físicos y de su dependencia con las variables del ambiente (Van Den Hoeck & Breeman 1978). Sin embargo, este esquema puede ser complicado debido a que la mayoría de los animales no se restringen a una distribución uniformemente regular y bien definida, a pesar de que la mayoría de los individuos viven en una zona específica (Alcolado *et al.* 2008). Si consideramos que los arrecifes coralinos someros tienen límites ambientales estrictos, el sustrato y el espacio tienen una importancia relevante; los corales hermatípicos al ser los principales constructores del entorno arrecifal, son también los principales poseedores del espacio de tales hábitats. Sin embargo, en ambientes marinos tropicales, otros antozoarios (principalmente zohantidos y octocorales) no escleractínios ocupan considerables extensiones de sustrato (Mary *et al.* 2011).

El espacio libre es calificado como una medida del potencial disponible para un organismo o un grupo de ellos, este factor junto con la estructura del arrecife juega un papel persuasivo en muchos de los procesos a diferentes escalas espaciales y temporales. El concepto de limitación de recursos como un factor controlador importante de las poblaciones ha sido considerado ampliamente desde el trabajo de MacArthur (1972), donde se enfatizó el papel de la competencia (incluyendo el espacio) entre las especies (inter e intraespecífica); pero no solo las interacciones competitivas entre organismos hacen del espacio libre algo importante, la creación de parches, esto es la liberación de espacios por disturbios, es considerada de igual o mayor importancia en la regulación de la distribución y abundancia de especies en el arrecife de coral (Lewin 1983).

En algunas escalas de asociación de especies ciertos niveles de disturbio pueden hacer coexistir grandes números de especies en un área específica (Porter 1974, Connell 1978). En estas concordancias, la influencia del disturbio está íntimamente relacionada además del papel de la competencia interespecífica, el empaquetamiento de especies y la sucesión ecológica (Dornelas & Connelly 2008). Bajo este contexto, el presente trabajo trata de identificar patrones de distribución tanto de corales blandos como escleractínios y en consecuencia vislumbrar la existencia o no de algunas relaciones que puedan generar hipótesis acerca de los factores controladores de dicha distribución; y sobre todo, inferir las vías de respuestas a tales factores en ambos grupos, pensando en una posible dirección diferenciada hacia el manejo de este ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos obtenidos se restringen a 9 áreas distribuidas en el cuerpo arrecifal del arrecife Banco Chinchorro en el Caribe Mexicano (Fig. 1) en dos años (2013 y 2018). El método utilizado fue un reconocimiento subacuático y foto transectos en líneas de 20 m de largo (Liddell & Ohlhorst 1991, Torruco & González-Solís 2021), siguiendo 9 biotopos con SCUBA. Cada fotografía fue tomada con una cámara NIKONOS V, perpendicular al piso arrecifal a una altura de 80 cm lo que cubre un área de 0,1904 m². De manera inicial, cada área fue estudiada cualitativamente a fin de compilar una lista completa de especies y obtener una estimación representativa no sesgada, por la escasez de especies raras ni por la dominancia de especies con distribución agregada. Posteriormente, cada fotografía fue analizada por 31 puntos aleatorios para determinar la abundancia (Leujak & Ormond 2007).

Para la comparación de biotopos y el registro de áreas críticas en las zonas arrecifales en Banco Chinchorro, se usó un método numérico basado en un análisis de conglomerados bajo el criterio divisivo del Contenido de Información de segundo orden (CI₂) (Ezcurra & Equihua 1984). El algoritmo utiliza logaritmos en base diez, por lo cual los resultados se dan en beles/ind. En el proceso de caída de información, el análisis proporciona el atributo que discrimina cada partición. La formulación es la siguiente:

$$I_2 = 2 sn \log n - n \sum_{i=1}^s \log \sum_{k=1}^m a_{ki}^2$$

Donde:

a_{ki} Indica la cantidad de veces que se encuentra presente el atributo **i** en el estado **k**.

n Número de individuos a clasificar.

s Atributos que lo caracterizan.

m Número máximo de estados presentes en cualquier atributo.

RESULTADOS

De las 41 especies de corales hermatípicos acreditados en este estudio, el biotopo parches arrecifales tuvo el mayor porcentaje (78,05 %) seguido del arrecife posterior en la zona de sotavento (70,73 %). Las 33 especies de gorgonáceos estuvieron mejor representadas en el arrecife anterior (84,85 %), seguido de los parches arrecifales y la rompiente (60,61 % en ambos casos), como puede verse en la Tabla 1. La identidad de las especies por cada biotopo esta ilustrada en las Tablas 2 y 3.

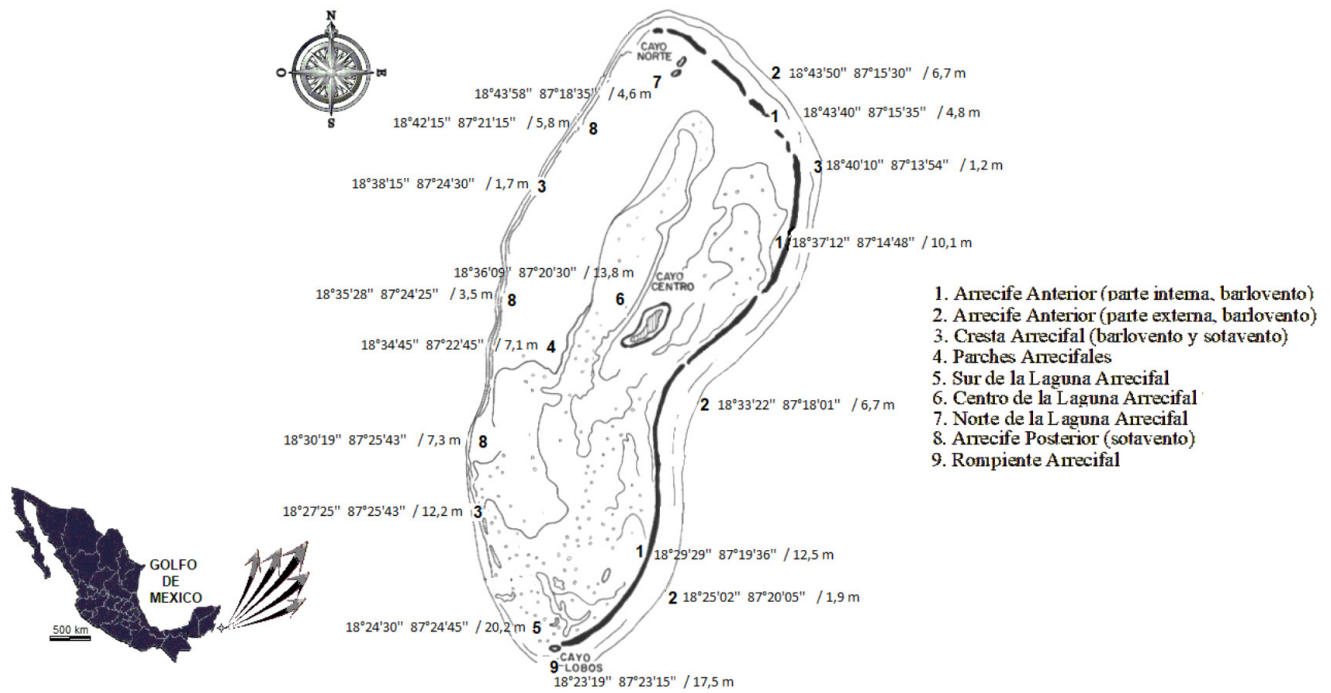


FIGURA 1. Localización de los sitios de muestreo en Banco Chinchorro, Arrecife Oceánico del Caribe Mexicano. Se presentan las coordenadas geográficas (N y O) de cada biotopo y la profundidad del muestreo. / Sampling sites in Banco Chinchorro, Oceanic Reef of the Mexican Caribbean. Geographic coordinates (N and W) of each biotope and sampling depth are presented.

TABLA 1. Porcentaje de especies en cada biotopo para ambos periodos (2013 y 2018). / Species percentage in each biotope for both periods (2013 and 2018).

| Biotopos | Porcentaje de especies | |
|--|------------------------|-----------------|
| | Corales duros | Corales blandos |
| 1. Arrecife Anterior (parte interna, barlovento) | 41,46 | 42,42 |
| 2. Arrecife Anterior (parte externa, barlovento) | 73,17 | 84,85 |
| 3. Cresta Arrecifal (barlovento y sotavento) | 36,59 | 39,39 |
| 4. Parches Arrecifales | 78,05 | 60,61 |
| 5. Sur de la Laguna Arrecifal | 26,83 | 18,18 |
| 6. Centro de la Laguna Arrecifal | 17,07 | 27,27 |
| 7. Norte de la Laguna Arrecifal | 7,32 | 3,03 |
| 8. Arrecife Posterior (sotavento) | 70,73 | 72,73 |
| 9. Rompiente Arrecifal | 49,90 | 60,61 |

TABLA 2. Presencia de corales duros en ambos periodos (2013 y 2018) en el arrecife de Banco Chinchorro, México. Las especies se presentan en orden alfabético. / Hard corals presence both periods (2013 y 2018) in the Chinchorro Bank reef, Mexico. Species are presented in alphabetical order.

| | Especies de corales duros | Biotopos | | | | | | | | |
|----|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | <i>Acropora cervicornis</i> (Lamarck, 1816) | | | * | * | | | | | * |
| 2 | <i>Acropora palmata</i> (Lamarck, 1816) | * | | * | * | | | | * | * |
| 3 | <i>Acropora prolifera</i> (Lamarck, 1816) | | | * | | | | | | |
| 4 | <i>Agaricia agaricites</i> (Linnaeus, 1758) | * | * | * | * | * | * | | * | * |
| 5 | <i>Agaricia fragilis</i> Dana, 1846 | * | | | * | | | | * | |
| 6 | <i>Agaricia lamarcki</i> Milne Edwards & Haime, 1851 | | * | | * | | | | | |
| 7 | <i>Agaricia tenuifolia</i> Dana, 1846 | * | * | * | * | | | | * | * |
| 8 | <i>Astrangia solitaria</i> (Le Sueur, 1817) | | | | | | | | * | |
| 9 | <i>Colpophyllia natans</i> (Houttuyn, 1772) | | * | | * | * | | | * | |
| 10 | <i>Colpophyllia breviserialis</i> Milne Edwards & Haime, 1849 | | | | * | | | | * | |
| 11 | <i>Dendrogyra cylindrus</i> (Ehrenberg, 1834) | | * | | * | | | | * | * |
| 12 | <i>Dichocoenia stokesii</i> (Milne Edwards & Haime, 1849) | * | * | * | * | | | | * | * |
| 13 | <i>Diploria labyrinthiformis</i> (Linnaeus, 1758) | | * | | * | * | | | * | |
| 14 | <i>Eusmilia fastigiata</i> (Pallas, 1766) | * | * | | * | * | | | * | * |
| 15 | <i>Favia fragum</i> (Esper, 1793) | * | | * | * | | | | | * |
| 16 | <i>Helioseris cucullata</i> (Ellis & Solander, 1786) | | * | | | | | | * | |
| 17 | <i>Isophyllia rigida</i> (Dana, 1846) | * | * | * | * | | | | * | * |
| 18 | <i>Isophyllia sinuosa</i> (Ellis & Solander, 1786) | * | * | | * | | | | * | * |
| 19 | <i>Madracis decactis</i> (Lyman, 1859) | | | | * | | | | | |
| 20 | <i>Madracis myriaster</i> (Milne Edwards & Haime, 1850) | | * | | * | | | | | |
| 21 | <i>Manicina areolata</i> (Linnaeus, 1758) | | * | | * | | * | | | |
| 22 | <i>Meandrina meandrites</i> (Linnaeus, 1758) | | * | | * | | | | * | |
| 23 | <i>Montastraea cavernosa</i> (Linnaeus, 1767) | * | * | | * | * | | | * | * |
| 24 | <i>Mussa angulosa</i> (Pallas, 1766) | | * | | * | | | | * | |
| 25 | <i>Mycetophyllia aliciae</i> Wells, 1973 | | * | | | | | | | |
| 26 | <i>Mycetophyllia danaana</i> Milne Edwards & Haime, 1849 | | * | | | | | | * | |
| 27 | <i>Mycetophyllia ferox</i> Wells, 1973 | | * | | | | | | | |
| 28 | <i>Mycetophyllia lamarckiana</i> Milne Edwards & Haime, 1849 | | * | | * | | | | * | |
| 29 | <i>Orbicella annularis</i> (Ellis & Solander, 1786) | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 30 | <i>Porites astreoides</i> Lamarck, 1816 | * | | * | * | * | | | * | * |
| 31 | <i>Porites divaricata</i> Le Sueur, 1820 | | | * | * | | | | | |
| 32 | <i>Porites furcata</i> Lamarck, 1816 | | | | * | * | * | | | |
| 33 | <i>Porites porites</i> (Pallas, 1766) | * | * | * | * | * | * | | * | * |
| 34 | <i>Pseudodiploria clivosa</i> (Ellis & Solander, 1786) | * | * | * | * | | | | * | * |
| 35 | <i>Pseudodiploria strigosa</i> (Dana, 1846) | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 36 | <i>Scolymia cubensis</i> (Milne Edwards & Haime, 1848) | | * | | | | | | * | |
| 37 | <i>Scolymia lacera</i> (Pallas, 1766) | | * | | | | | | | |
| 38 | <i>Siderastrea radians</i> (Pallas, 1766) | * | * | * | * | * | * | * | * | * |
| 39 | <i>Siderastrea siderea</i> (Ellis & Solander, 1786) | * | * | | * | | | | * | * |
| 40 | <i>Solenastrea bournoni</i> Milne Edwards & Haime, 1849) | | * | | * | | | | * | |
| 41 | <i>Stephanocoenia intersepta</i> (Esper, 1795) | | * | | | | | | * | |
| | Total de especies | 17 | 30 | 15 | 32 | 11 | 7 | 3 | 29 | 18 |

Biotopos: 1. Arrecife Anterior (parte interna, barlovento), 2. Arrecife Anterior (parte externa, barlovento), 3. Cresta Arrecifal (barlovento y sotavento), 4. Parches Arrecifales, 5. Sur de la Laguna Arrecifal, 6. Centro de la Laguna Arrecifal, 7. Norte de la Laguna Arrecifal, 8. Arrecife Posterior (sotavento), 9. Rompiente Arrecifal.

TABLA 3. Presencia de corales blandos en ambos periodos (2013 y 2018) en el arrecife de Banco Chinchorro, México. Las especies se presentan en orden alfabético. / Soft corals presence both periods (2013 y 2018) in the Chinchorro Bank reef, Mexico. Species are presented in alphabetical order.

| | Especies de corales blandos | Biotopos | | | | | | | | |
|--------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | <i>Antillogorgia acerosa</i> (Pallas, 1766) | | * | * | * | | * | | * | * |
| 2 | <i>Antillogorgia americana</i> (Gmelin, 1791) | * | * | * | * | | | | * | * |
| 3 | <i>Antillogorgia bipinnata</i> (Verrill, 1864) | | | | | * | | | | |
| 4 | <i>Antillogorgia rigida</i> (Bielschowsky in Kükenthal, 1919) | | * | | | | | | | |
| 5 | <i>Briareum asbestinum</i> (Pallas, 1766) | * | | * | * | * | | | * | * |
| 6 | <i>Erythropodium caribaeorum</i> (Duchassaing & Michelotti, 1860) | | * | | | | | | * | * |
| 7 | <i>Eunicea calyculata</i> (Ellis & Solander, 1786) | * | * | | * | | | | * | * |
| 8 | <i>Eunicea flexuosa</i> (Lamouroux, 1821) | * | * | * | * | * | * | | * | * |
| 9 | <i>Eunicea laciniata</i> Duchassaing & Michelotti, 1860 | | * | | * | | | | | * |
| 10 | <i>Eunicea laxispica</i> (Lamarck, 1815) | | | | | | | | * | |
| 11 | <i>Eunicea mammosa</i> Lamouroux, 1816 | * | * | * | * | * | * | | * | * |
| 12 | <i>Eunicea tourneforti</i> Milne Edwards & Haime, 1857 | * | * | * | * | | * | | * | * |
| 13 | <i>Eunicea</i> sp. | | * | | | | | | * | |
| 14 | <i>Gorgonia flabellum</i> Linnaeus, 1758 | * | * | * | * | * | * | | * | * |
| 15 | <i>Gorgonia ventalina</i> Linnaeus, 1758 | | * | | * | | * | | * | * |
| 16 | <i>Icillogorgia schrammi</i> Duchassaing, 1870 | | * | | | | | | * | |
| 17 | <i>Leptogorgia</i> sp. | * | * | | | | | | | |
| 18 | <i>Muricea atlantica</i> (Riess in Kükenthal, 1919) | | * | | * | | | | * | * |
| 19 | <i>Muricea elongata</i> Lamouroux, 1821 | | | | | | | | * | |
| 20 | <i>Muricea muricata</i> (Pallas, 1766) | | * | | * | | | | * | * |
| 21 | <i>Muricea pinnata</i> Bayer, 1961 | | * | | | | | | * | |
| 22 | <i>Muriceopsis flavida</i> (Lamarck, 1815) | * | * | * | * | | | | * | * |
| 23 | <i>Plexaura homomalla</i> (Esper, 1794) | * | * | * | * | | * | | * | * |
| 24 | <i>Plexaurella dichotoma</i> (Esper, 1791) | * | * | * | * | | * | | * | * |
| 25 | <i>Plexaurella grisea</i> Kunze, 1916 | | * | * | | | | | * | |
| 26 | <i>Plexaurella nutans</i> (Duchassaing & Michelotti, 1860) | | * | | | | | | | |
| 27 | <i>Plexaurella</i> sp. | | * | | * | | | | | |
| 28 | <i>Pterogorgia anceps</i> (Pallas, 1766) | * | * | | * | | * | * | | * |
| 29 | <i>Pterogorgia citrina</i> (Esper, 1792) | * | * | | * | | | | | * |
| 30 | <i>Pterogorgia guadalupensis</i> Duchassaing & Michelin, 1846 | | * | | | | | | | |
| 31 | <i>Pseudoplexaura flagellosa</i> (Houttuyn, 1772) | | * | | * | | | | * | * |
| 32 | <i>Pseudoplexaura porosa</i> (Houttuyn, 1772) | * | * | * | * | | | | * | * |
| 33 | <i>Pseudopterogorgia</i> sp. | | | * | | * | | | * | |
| Total de especies | | 14 | 28 | 13 | 20 | 6 | 9 | 1 | 24 | 20 |

Biotopos: 1. Arrecife Anterior (parte interna, barlovento), 2. Arrecife Anterior (parte externa, barlovento), 3. Cresta Arrecifal (barlovento y sotavento), 4. Parches Arrecifales, 5. Sur de la Laguna Arrecifal, 6. Centro de la Laguna Arrecifal, 7. Norte de la Laguna Arrecifal, 8. Arrecife Posterior (sotavento), 9. Rompiente Arrecifal.

Todas las especies frecuentes y abundantes (*Orbicella annularis*, *Agaricia agaricites*, *Porites porites*, *Pseudodiploria strigosa* y *Siderastrea radians* para los corales duros y *Eunicea mammosa*, *E. flexuosa* y *Gorgonia flabellum* para los blandos) que tienen un efecto significativo en la estructuración comunitaria, sucesión y desarrollo arrecifal del Banco, están bien representadas en el conjunto de datos. Las diferencias en la composición y abundancia de especies entre las áreas son, en general, muy frecuentes. Se pone de manifiesto una discontinuidad marcada que incluye algunos corales blandos por ejemplo *Eunicea mammosa*, *E. flexuosa* y *Gorgonia flabellum* los cuales están representados en casi todas las zonas excepto en la parte norte de la Laguna arrecifal. Entre los corales duros, *Orbicella annularis*, *Pseudodiploria strigosa* y *Siderastrea radians*, se presentan en todas las áreas (aunque con abundancias mínimas), lo cual le confiere la propiedad de ser los principales usuarios del espacio en los diferentes biotopos identificados.

Con ambos periodos, en la mayoría de las zonas estudiadas, la riqueza específica es baja; sin embargo, el arrecife anterior externo (58 especies), el arrecife posterior (53 especies y los parches arrecifales (52 especies) son los biotopos con mayor riqueza mientras que la parte norte de la laguna es la zona más depauperada en ambos años (4 especies) (Figs. 2A y 2B respectivamente). También, se presenta una disminución de la riqueza de ambos grupos en casi todas las áreas de uno a otro año; las abundancias de los escleractinios disminuyen en un 35,22 % mientras que los octocorales aumentan en una proporción similar (35,91 %) (Tabla 4).

TABLA 4. Abundancias de los grupos en ambos años de muestreo (2013 y 2018). / Groups Abundances in both sampling years (2013 and 2018).

| GRUPOS | AÑO 2013 (Ind.) | AÑO 2018 (Ind.) | DIFERENCIA (%) |
|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Corales Duros | 2030 | 1515 | 25,36 menor |
| Corales Blandos | 852 | 1158 | 35,91 mayor |

El Cl₂ total de ambos grupos es alto (168 y 136 beles para 2013 y 2018 respectivamente) en ambos años. Las caídas de información más drásticas son ocasionadas por *Mycetophyllia lamarckiana* para el primer periodo y por *Muricea muricata* para el segundo (Figs. 3A y 3B respectivamente).

En los dos periodos, existe una asociación de áreas intrínsecas muy semejantes. Se identifican dos grandes similitudes. La primera incluye áreas de la laguna arrecifal y de zonas localizadas esencialmente, en barlovento. El segundo periodo, incluye en ambos casos los parches arrecifales y localidades ubicadas en sotavento, así como la zona del arrecife anterior externo; sin embargo, las especies que identifican las áreas con su abundancia y presencia han cambiado en ese intervalo de tiempo. No obstante, esta sustitución de especies algunas asociaciones se mantienen en ese intervalo de tiempo, como es el caso del arrecife posterior y la parte externa del arrecife anterior.

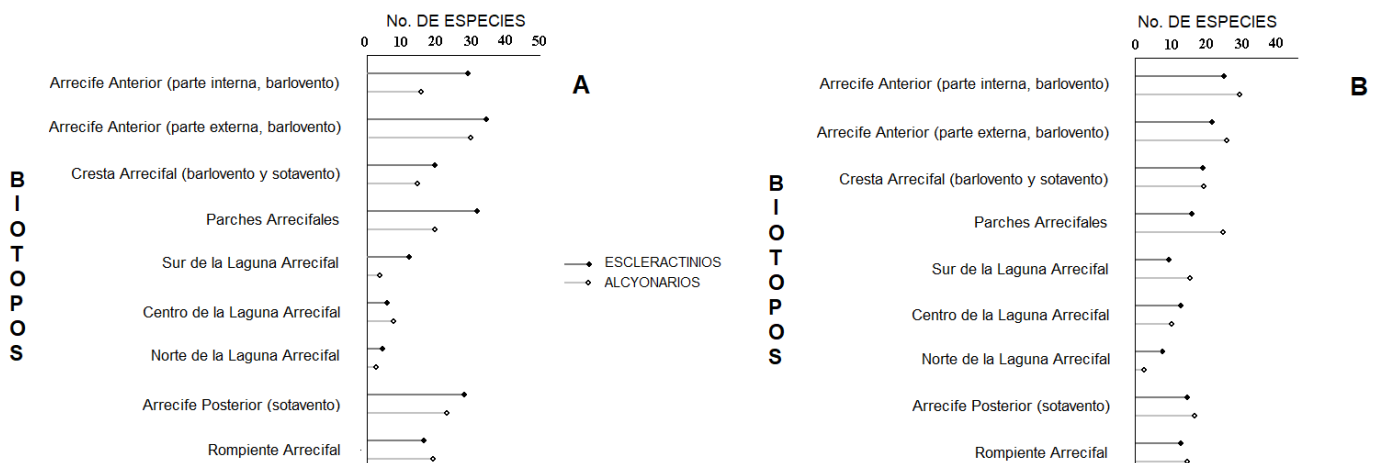


FIGURA 2. Riqueza de especies de corales duros y blandos en los diferentes biotopos de Banco Chinchorro: A 2013, B 2018. / Hard and soft corals species richness in the different biotopes of Chinchorro Bank: A 2013, B 2018.

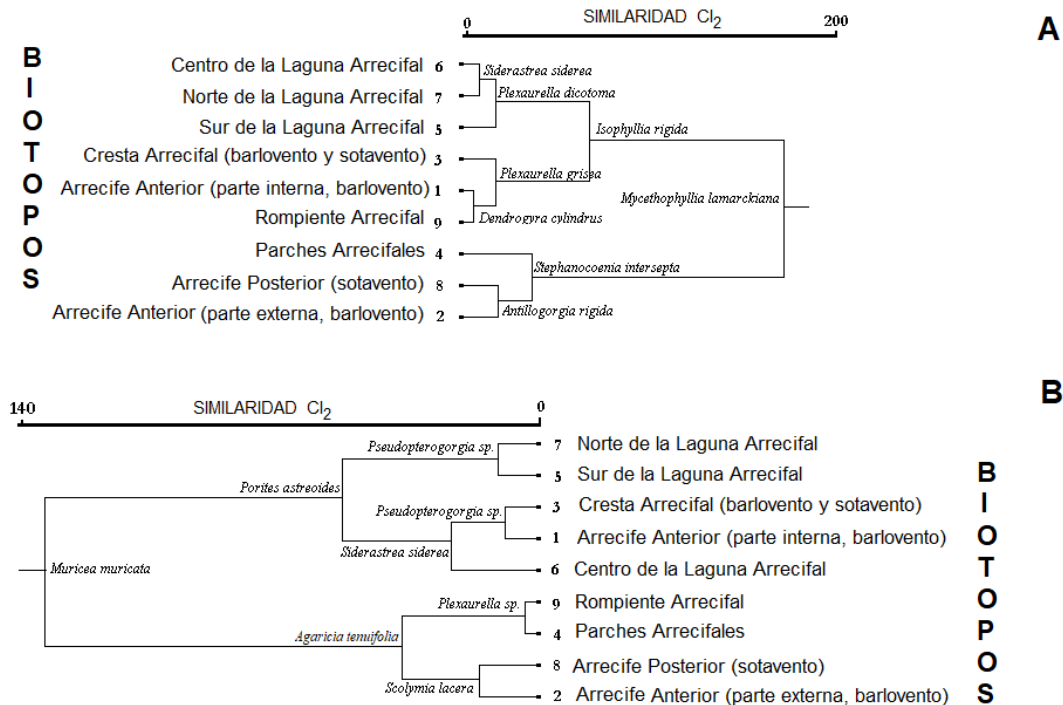


FIGURA 3. Similitud de biotopos en Banco Chinchorro. Se muestra la especie que identifica cada asociación y la caída de información (beles/ind.) que origina: A 2013, B 2018. / Biotopes similarity in Banco Chinchorro. The species that identifies each association and the information (beles/ind.) fall that it originates are shown A 2013, B 2018.

DISCUSIÓN

Muchos autores (Birrell *et al.* 2005, Dornelas & Connelly 2008, Titlyanov & Titlyanova 2008, Chuc *et al.* 2011, Ortigón-Aznar *et al.* 2012) han documentado transiciones importantes en los arrecifes coralinos, que llevan hacia un dominio de algas carnosas o a importantes cambios con otros organismos sésiles (Chadwick & Morrow 2011, Rodríguez-Martínez *et al.* 2012, Prince *et al.* 2021). Este cambio drástico ha sido precedido por la disminución de peces e invertebrados herbívoros o aumentos de nutrientes y sedimentos terrígenos (McCook *et al.* 2001, Nugues & Roberts 2003, Titlyanov *et al.* 2005, Avalos-Martínez 2011) y han originado una reestructuración ecológica hacia especies más generalistas (Mary & Sluka 2014); sin embargo, en sitios donde estos elementos no han sido perturbados por una sobreexplotación o enfermedades, pueden ocurrir cambios sutiles originados por algún factor o efectos combinados y a menudo sinérgicos de varios de ellos, en un tiempo reducido (Folke *et al.* 2004). De manera global, la Comisión Nacional del Agua en México, (CONAGUA 2013, 2018), menciona en los reportes correspondientes a

los dos años de muestreo, que las condiciones oceanográficas no habían tenido grandes variaciones; repercusiones del fenómeno ENSO y la niña, aun cuando son eventos de gran importancia en la parte del Pacífico, no presentó anomalías en la temperatura superficial del mar ($\pm 0,5$ °C) y en ambos años los vientos presentaron niveles bajos (850 mb), lo que descartaría la influencia de estos fenómenos en la sustitución de especies y en los cambios reportados. Con relación a los huracanes y tormentas tropicales, los reportes de CONAGUA para esos años mencionan que en 2013 solo las tormentas Barry y Chantal, pudieron tener cierta influencia sobre el arrecife, sus vientos sostenidos y rachas estuvieron entre 55 y 120 Km/h; en 2018, las únicas tormentas que pudieron influenciar el arrecife fueron Alberto y Michael, pero pasaron a más de 70 km de la costa, por lo que consideramos que en esos años la influencia de este factor fue insignificante.

Desde hace décadas, se han identificado muchas razones que originan la alta heterogeneidad biótica de los arrecifes de coral (Grassle 1973). A pesar de que en un arrecife los corales son frecuentes y quizá los predominantes, la distribución de ellos no es uniforme. Las zonas arrecifales

típicas son virtualmente un ejemplo de esto (Reichelt 1988, Torruco 1995). Los corales ocupan grandes extensiones de los ambientes arrecifales; sin embargo, el asentamiento de estos organismos en un ambiente en particular está determinado principalmente por la dinámica física y química del hábitat (Mary & Sluka 2014, Torruco *et al.* 2018), así como de las interacciones bióticas que influyen sobre algunas circunstancias en la escala local.

El presente trabajo exhibe la presencia de diferentes asociaciones de corales tanto blandos como duros en diferentes estructuras arrecifales y hábitats. Observaciones empíricas algunas de las cuales son resumidas aquí, implican que un cambio pequeño en los factores controladores puede cambiar el balance entre un grupo y otro; Fabricius & Alderslade (2001), mencionan que cuando existen más escleractinios hay menos alcionarios y viceversa, como existe en Banco Chinchorro. A una pequeña escala de análisis en esta localidad, la cobertura de estos organismos en ambientes de fondo duro es muy variable. Algunos fenómenos biológicos como tasas de competencia, reclutamiento y depredación, pueden enmascarar las diferencias entre las distintas áreas y por consiguiente unir estos ecosistemas como menos aislados. Tales desigualdades pueden reunirse en distintas organizaciones de especies en los diferentes ambientes lo que implica cierto grado de dominancia que presentan elementos de uno u otro grupo (Torruco *et al.* 2021), como sucede con la zona sur de la laguna, el arrecife anterior interno y los parches arrecifales.

En las áreas inestables sobre todo en la parte de barlovento, los octocorales cubren sólo ciertas partes de las plataformas de los parches arrecifales. De acuerdo con Sánchez *et al.* (1998) para el suroeste del Caribe y con Padilla (2006) para la zona costera del estado de Quintana Roo en México, un oleaje vigoroso parece ser más inhibitorio para el crecimiento de corales blandos y explica en parte la distribución presentada por este grupo en la zona de barlovento. En algunos casos se encuentra una correspondencia inversa entre corales blandos y duros en arrecifes independientes tal como el análisis de la mayoría de las zonas identificadas lo demuestra, pero en otros se presenta una analogía directa (como es el caso de la rompiente) o una falta de ella. Sin embargo, parece ser que los octocorales son menos tolerantes que los escleractinios a condiciones adversas; consecuentemente una correspondencia inversa puede implicar cualquiera de las dos consideraciones siguientes:

1. Los corales duros y blandos tienen tolerancias complementarias.
2. Si existe la competencia entre ellos en ciertos ambientes se ven favorecidos uno u otro grupo.

Estas aparentes contradicciones, pueden ser válidas para el mismo juego de datos al hacer comparaciones a través de escalas considerablemente diferentes, ya que además puede involucrarse el parámetro profundidad. En el caso de los corales escleractinios, la dominancia espacial está fuertemente atada a la continuidad de los pólipos.

Ambos grupos si bien no son totalmente dominantes béticos, sí pertenecen a un gremio simple, en términos de Root (1967) ya que son “grupos de especies que explotan la misma clase de recursos ambientales en caminos similares e incluyen todas las especies simpátricas involucradas en una interacción competitiva indiferentes a su relación taxonómica” (Sanmarco *et al.* 1983, Maida *et al.* 2001, Márquez & Díaz 2005). Si la competencia existe entre corales blandos y duros, la pérdida de relación en las áreas identificadas sugiere que ambos grupos responden a diferentes factores del ambiente o al mismo factor en diferentes vías y a una escala ultra local (Yranzo *et al.* 2014). Aun cuando la disminución de la abundancia de los escleractinios es de 25.36 %, su predominancia faunística sugiere mayores resistencias al oleaje, fluctuaciones de temperatura y emergencias ocasionales debidas a tormentas tropicales.

Una relación causa efecto entre la estructura de la comunidad y el disturbio físico es sugerido por el análisis de similitud entre estaciones, donde los principales agrupamientos corresponden a biotopos relacionados con presiones del ambiente como frecuencia e intensidad del oleaje, tasa de asolvamiento, protección a los vientos, etc., un proceso parecido sucede con los octocorales del Varadero en Colombia (Manrique-Rodríguez *et al.* 2019). Los patrones de distribución en parches de muchas especies son probablemente causados por un disturbio frecuente (el área de crestas y surcos es probablemente efecto de la tensión provocada por el oleaje y el cambio de la estructura fisiográfica del sustrato), como sucede en la zona costera del caribe mexicano (Padilla 2006). Sin embargo, el amplio intervalo de distribución de muchos escleractinios y octocorales sugiere que algunas especies son generalistas con amplios intervalos de tolerancia.

Además, la distribución en parches es una de las formas más remarcadas de muchos alcionarios (Manrique-Rodríguez *et al.* 2019), lo cual origina una alta variedad de la composición de especies en diferentes localidades. Tal distribución espacial es resultado de una corta fase larval pelágica y de un comportamiento gregario (Benayahu 1985). El principal factor que limita la distribución de alcionarios y escleractinios es la disponibilidad de sustrato firme apropiado para el asentamiento larval, como es el caso de la porción norte de la laguna, la cual tiene un proceso activo de asolvamiento (González-Solis *et al.* 2021). Por otra parte, la reproducción

REFERENCIAS

asexual, la cual es muy común en los corales blandos, causa desarrollo de agregaciones casi monoespecíficas, lo cual lleva a fuertes magnitudes de competencias, lo que podría asociarse al aumento de su abundancia (35,91 %)

Un aspecto importante que debe ser considerado es el efecto de la micro topografía ya que es posible que origine una distribución diferencial sobre un intervalo batimétrico y sobre áreas más específicas (Ohlhorst & Liddell 1988, López-Victoria *et al.* 2015). De manera general en el Banco, dominan los ángulos bajos de las superficies de exposición en zonas profundas, mientras que superficies resguardadas o expuestas verticalmente predominan en las porciones superiores del arrecife anterior. La influencia de la micro topografía es preponderante en el sistema de surcos y crestas de Banco Chinchorro, ya que incide en la irradiancia disponible para el bentos por lo que ejerce un fuerte efecto en la composición de la comunidad y en su diversidad a cualquier profundidad. Un esquema semejante fue encontrado por Birkeland *et al.* (1981) en Guam y por Ohlhorst & Liddell (1988) en Jamaica, que muestra el efecto de la micro topografía en la distribución del bentos en aguas someras.

Aunado a lo anterior, la corriente surnorte y la fisiografía del complejo arrecifal, genera algunos vórtices en las corrientes locales, lo que ocasiona la formación de surgencias puntuales las cuales se ponen en evidencia por el enriquecimiento de las aguas superiores (Torruco *et al.* 2003, Lewis *et al.* 2012, Torres-Alvarado & Calva-Benítez 2012, Bayraktarou *et al.* 2014). La intrusión de estas aguas en Banco Chinchorro tiene influencia en la nutrición de las profundidades someras y proporciona ambientes de altos nutrientes para el crecimiento de corales y macroalgas, como sucede en otros sitios (Dinesen 1983, De la Guardia & González-Sansón 2000).

Parte de estos resultados pueden indicar que la complejidad del hábitat en los diferentes biotopos o áreas críticas es relativamente alta, lo que proporciona una gran heterogeneidad en la distribución de ambos grupos. Un aspecto importante que debe ser tomado en cuenta en futuras investigaciones es la estructura de tallas de ambos grupos ya que la reducción del tamaño de las colonias podría ser un indicador de una condición previa al decremento de la abundancia y por consecuencia en un aspecto a considerar en los cambios que puedan sufrir los diferentes biotopos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer un reconocimiento al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por el apoyo otorgado al proyecto "Bases Ecológicas para la administración de Banco Chinchorro".

- Alcolado, P., García-Parrado, P., Hernández-Muñoz, D. 2008. Estructura y composición de las comunidades de gorgonias de los arrecifes del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba: Conectividad y factores determinantes. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 37(1): 11-29.
- Avalos-Martínez, E. 2011. Los efectos del cambio climático en los arrecifes de coral y otras amenazas constantes. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias Políticas, UNAM.
- Bayraktarou, E., Bastidas-Salamanca, M.L., Wild, C. 2014. The physical environment in coral reefs of the Tayrona National Park (Colombian Caribbean) in response to seasonal upwelling. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 43(1): 137-157.
- Benayahu, Y. 1985. Faunistic composition and patterns in the distribution of soft coral (Octocorallia, Alcyonacea) along the coral reef of Sinai Peninsula. *Proceeding. 5th Inter. Coral Reef Congress. Tahiti* 6: 255-260.
- Birkeland, B., Rouley, C., Randall, R.H. 1981. Coral recruitment pattern in Guam. *Proceeding 4th International Coral Reef Symposium. Manila* 2: 339-344.
- Birrell, C.L., McCook, L.J., Willis, B.L. 2005. Effects of algal turf and sediment on coral settlement. *Marine Pollution Bulletin* 61: 408-414.
- CONAGUA. 2013. Reporte del clima en México. Servicio meteorológico nacional. Gerencia meteorológica y climatológica. Subgerencia de pronóstico
- CONAGUA. 2018. Reporte del clima en México. Servicio meteorológico nacional. Gerencia meteorológica y climatológica. Subgerencia de pronóstico.
- Chadwick, N.E., Morrow, K.M. 2011. Competition among sessile organisms on coral reefs. In: Dubinsky, Z., Strambler, N. (Eds.) *Coral Reefs: An ecosystem in transition*. 347-371 pp. https://doi.org/10.1007/978-74-007-0114-4_20
- Chuc, C. A., Ortegón-Aznar, I., Tuyub-Mota, A., Alvarez-Salazar, J. 2011. Cambio de fase Coral-algas en el Arrecife de Coral de Mahahual, en el Caribe Mexicano: 28-31 pp. *Proceeding 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. Puerto Morelos, México.
- De la Guardia L.E., González-Sansón, G. 2000. Asociaciones de corales, gorgonias, esponjas del sublitoral habanero al oeste de la Bahía de la Habana. *Índices ecológicos. Revista de Investigación Marina* 21(1-3): 9-16.
- Dinesen, Z.D. 1983. Patterns in the distribution of soft coral across the Central Great Barrier. *Coral Reefs* 1(4): 229-236.
- Dornelas, M., Connelly, S.R. 2008. Multiple modes in a coral species abundance distribution. *Ecology Letters* 11:

- 1008-1016.
- Ezcurra, E., Equihua, M. 1984. La teoría de la información aplicada a la clasificación de datos biológicos. In: Kohlmann B., Sánchez-Colón, S. (Eds.) Métodos cuantitativos en la biogeografía: 99-40. Instituto de Ecología A.C. CDMX.
- Fabricius, K., Alderslade, P. 2001. Soft Corals and Sea Fans. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia. 210 pp.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review Ecology, Evolution and Systematic* 35: 557-581.
- González-Solis, A., Torruco, D., Torruco-González, D.A. 2021. Distribución de macroalgas e invertebrados bentónicos en la laguna arrecifal del arrecife de Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. *Intropica* 16(1): 83-95.
- Grassle, J.F. 1973. Variety in coral reef communities. In: Jones, O.A., Endean, R. (Eds.) *Biology and geology of coral reefs* 2: 247-270. Academic Press.
- Leujak, W., Ormond, R.F.G. 2007. Comparative accuracy and efficiency of six coral community survey methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 361: 168-187.
- Lewin, R. 1983. Predators and hurricanes: Change ecology. *Science* 221:737740.
- Lewis, S.E., Brodie, J.E., McCulloch, M.T., Mallela, J., Jupiter, S.D., Williams H.S., Lough, J.M., Matson, E.G. 2012. An Assessment of an environmental gradient using coral geochemical records, Whitsunday Islands, Great Barrier Reef, Australia. *Marine Pollution Bulletin* 65: 306-319. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011:09030>
- Liddell, W.D., Ohlhorst, S.L. 1991. Sampling of sessile organisms. In: *Magill's Survey of Science: Life Series*. 2473-2479 pp. Pasadena, C.A.
- López-Victoria, M., Rodríguez-Moreno, M., Zapata, F.A. 2015. A paradoxical reef from Varadero, Cartagena Bay, Colombia. *Coral Reefs* 34(1): 231.
- MacArthur, R.H. 1972. *Geographical ecology*. Harper & Row.
- Maida, M., Sanmarco, P.W., Coll, J.C. 2001. Effects of soft corals on scleractinian coral recruitment. II alelopathy, spatial survivorship and reef community structure. *Marine Ecology* 22(4): 397-414.
- Manrique-Rodríguez, N., Agudelo, C., Sanjuan-Muñoz, A. 2019. Comunidad de octocorales gorgonáceos del arrecife de coral de Varadero en el Caribe colombiano: diversidad y distribución especial. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 48(1): 55-64.
- Márquez, J.C., Díaz J.M. 2005. Interacciones entre corales y macroalgas: Dependencia de las especies involucradas. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 34: 227-242.
- Mary, A.G., Sluka, R.D., Lazarus, S. 2011. Octocoral diversity and distribution on the south-west Indian coast. *Marine Biodiversity Records* 4(16): 1-11.
- Mary, A.G., Sluka, R.D. 2014. Biodiversity and distribution of octocorals of Minicoy Atoll, Lakshadweep. *Atoll Research Bulletin* 602: 1-17.
- McCook, L.J., Jompa, J., Díaz-Pulido, G. 2001. Competition between corals and algae on coral reef: a review of evidence and mechanisms. *Coral Reefs* 19: 400-417.
- Nugues, M.M., Roberts, C.M. 2003. Coral mortality and interaction with algae in relation to sedimentation. *Coral reefs* 22: 507-516.
- Ohlhorst, S.L., Liddell, W.D. 1988. The effect of substrata microtopography on reef community structure 6-120 m. *3: 355-360. Proceeding 6th Inter. Coral Reef Symposium, Australia.*
- Ortegón-Aznar, I., González-Vásquez, D.J., Tuz-Sulub, T., Aguilar-Perera, A. 2012. Cambio de fase en el parque nacional Arrecife Alacranes, México. Una aproximación por grupos funcionales. *Proceeding 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 136-139 pp. Noviembre 5-9. Santa Martha, Colombia.
- Padilla, S.C. 2006. Caracterización de las comunidades de gorgonáceos del arrecife del Municipio de Solaridad. *Revista de Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad, Universidad del Caribe* 2(1): 122-130.
- Porter, J.W. 1974. Community structure of coral reef on opposite sides of the Isthmus of Panama. *Science* 186: 543-545.
- Prince, S.C., Acosta, A.L., Andrade, J.E., Lotufo, T.N.C. 2021. Predicted shifts in the distribution of Atlantic reef-building corals in the face of climate change. *Frontiers in Marine Science*. 8: 673086. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021/573086>
- Reichelt, R.E. 1988. Space and structure effects on coral reefs. *Proceeding 6th Inter. Coral Reef Symposium Australia* 1: 235-242.
- Rodríguez-Martínez, R.E., Jordán-Garza, A.G., Baker, D.M., Jordán-Dahlgren, E. 2012. Comparative interactions between corals and *Tridernun solidum* on Mexican Caribbean reefs. *Coral Reefs* 31: 571-577. <https://doi.org/10.1007/s00338-011-0871-y>
- Root, R.B. 1967. The niche exploitation pattern of the blue Gray Gnatcatcher. *Ecology Monograph* 34(4): 317-350.
- Sánchez J.A., Zea, S., Díaz, J.M. 1998. Patterns of octocoral and black coral distribution in the oceanic barrier reef-complex of Providencia Island, southwestern Caribbean. *Caribbean Journal of Science* 34(3-4): 250-264.
- Sanmarco, P.W., Coll, J.C., La Barre, S., Willis, B. 1983. Competitive

- strategies of soft corals (Coelenterata: Octocorallia): allelopathic effects on selected scleractinian corals. *Coral Reef* 1(3): 173-178.
- Titlyanov, E.A., Titlyanova, T.V. 2008. Coral-Algal competition on damaged reefs. *Russian Journal of Marine Biology* 34(4): 199-218.
- Titlyanov, E.A., Titlyanova, T.V., Yokovleva, I.M., Nakano, Y., Bhagooli, R. 2005. Regeneration of artificial injuries on scleractinian corals and coral/algae competition for new formed substrate. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 323: 27-42.
- Torres-Alvarado, M.R., Calva-Benítez, L.G. 2012. Nutrientes en arrecifes de coral. Un caso de estudio. *ContactoS* 85: 42-50.
- Torruco, D. 1995. Faunística y ecología de los corales escleractínios en los arrecifes del sureste de México. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, España.
- Torruco, D., González-Solis, A.M., 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., 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.
- Torruco, D., González-Solis M.A., Torruco-González, A.D. 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: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101764>
- Torruco D., González-Solis, M.A. 2021. La fauna de invertebrados en la laguna arrecifal de Alacranes: arrecife oceánico del Sureste del Golfo de México. *Jornada Ecológica*. <https://www.jornada.com.mx/2021/11/21/ecologica247.pdf>
- Van Den Hoek, C., Breeman, A.M. 1978. The distribution of algae, corals and gorgonians in relation to depth, light attenuation, water movement and grazing pressure in the fringing coral reef of Curaçao, Netherlands Antilles. *Aquatic Botany* 5: 1-46.
- Yranzo, A., Villamizar, E., Romero, M., Boadas, H. 2014. Estructura de las comunidades de corales y octocorales de Isla de Aves, Venezuela, Caribe Nororiental. *Revista de Biología Tropical* 62(3): 115-136.

Received: 25.10.2022

Accepted: 04.04.2023