

2003A-2008A

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES



Variación Espacial del Ensamblaje de Corales

Hermatípicos en el Archipiélago Cayo Cochinos, Honduras

Tesis profesional que para obtener el título de

Licenciatura en biología

Presenta

Carlos Vladimir Pérez de Silva

Las agujas, Zapopan, Jalisco Junio 2010



Este trabajo se lo dedico a mi madre Oralia de Silva, cuyo apoyo incondicional y ferviente guía me ha servido para ser mejor persona y profesionalista, espero que continúe con su monumental tarea.

**Variación Espacial del Ensamblaje de Corales Hermatípicos en el  
Archipiélago Cayo Cochinos, Honduras**

Autor

Carlos Vladimir Pérez de Silva

Director de tesis

Dr. Fabián Alejandro Rodríguez Zaragoza

Sinodales de tesis

Dr. Ernesto López Uriarte

M.C. Ildelfonso Enciso Padilla

M.C. Martín Pérez Peña

Suplente: Biól. Cristian Moisés Galván Villa

Este trabajo se realizó en coordinación con World Wildlife Found (WWF), la  
Fundación Cayo Cochinos y el Laboratorio de Ecosistemas Marinos y  
Acuicultura (LEMA) de la Universidad de Guadalajara

## Agradecimientos

- A la Universidad de Guadalajara.
- Al PROMEP por el contrato como auxiliar de investigación en el proyecto PROMEP/103.5/08/2919.
- A World Wildlife Fund-Centroamérica por proporcionar la información que se analizó en este trabajo. Agradecimientos a M.C. Alicia C. Medina-Hernández y al Biól. Pablo Rico.
- A la Fundación Cayo Cochinos y a la comunidad de Garifonas de Cayos Cochinos por participar en los muestreos en campo.
- A mi director Dr. Fabián A. Rodríguez Zaragoza por su paciencia y por todos los conocimientos transmitidos.
- A los sinodales, Dr. Ernesto López Uriarte, M.C. Ildefonso Enciso Padilla, M.C. Martín Pérez Peña y Biól. Cristian Moisés Galván Villa, por sus atinadas sugerencias y comentarios, que incrementaron la calidad de este trabajo.
- A Oralia de Silva Dávila, mi madre, por su apoyo incondicional en todos mis proyectos y ayudarme a ser el profesionista que soy.
- A todos los integrantes del Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura (LEMA), por sus enseñanzas que quedarán conmigo para siempre.
- A todas las personas con las que compartí la carrera, grandes personas y amigos.
- Finalmente a toda la gente que me rodea y que considero mis buenos amigos.

## Resumen

Esta tesis evaluó la estructura del ensamblaje de corales hermatípicos en el Monumento Nacional Marino Archipiélago Cayo Cochinos, Honduras. Se analizaron los datos recolectados en Febrero del año 2008 en un monitoreo realizado por Word Wildlife Fund-Centroamérica (WWF), la Fundación Cayo Cochinos y la comunidad de Garífunas de Cayos Cochinos. En esta área protegida se muestrearon cinco sitios: Punta Pelicanos, La Grupera, Salamandinga, Mariposales y Rotan Bank. La riqueza y cobertura de corales hermatípicos, así como las coberturas de otros grupos morfo-funcionales bentónicos y tipos de sustrato, se estimaron con 56 videotransectos filmados *in situ*. Asimismo, se tomaron mediciones de la complejidad topográfica y de la profundidad por transecto. Se registraron un total de 22 especies coralinas, mientras que la riqueza de especies por sitio fue similar entre sí, de 16 a 17. La diversidad de Simpson (1-D) presentó valores de entre 0.81 y 0.89. El índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) fue de 2.13 hasta 2.46 nits. Sin embargo, los sitios no presentaron diferencias significativas entre la diversidad  $H'$  ( $p > 0.05$ ). La cobertura de coral vivo fue de 16.5% en Roatan Bank, 10.5% en Salamandinga, 9.7% en Punta Pelicanos, 7.6% en La Grupera y 6.9% en Mariposales. El Análisis de Similitudes (ANOSIM) evidenció que el ensamblaje de corales fue diferente entre la mayoría de los sitios, excepto entre La Grupera, Punta Pelicanos y Salamandinga. Los resultados del análisis de clasificación y escalonamiento multidimensional no métrico (MDS) asociaron un grupo de sitios y aislaron a dos entidades. El grupo correspondió a La Grupera, Punta Pelicanos y Salamandinga, porque presentaron una mayor contribución de *Porites astroides*, *Agaricia agaricites*, y *Montastrea annularis*. En cambio, Mariposales y Roatan Bank tuvieron ensamblajes coralinos más disímiles con una contribución más alta de *Montastrea cavernosa*, *Agaricia agaricites* y *Diploria labyrinthiformis*. Los análisis BEST mostraron que la diversidad, riqueza y equidad de especies se correlacionaron con las coberturas de macroalgas carnosas, arena y sustrato calcáreo. En cambio la composición y abundancia de especies tuvieron una mayor correlación con las coberturas de hidrocorales, algas articuladas calcáreas, arena y sustrato calcáreo. En general, se considera que las diferencias encontradas en la riqueza, abundancia y composición de especies de corales hermatípicos en Cayo Cochinos podrían ser un resultado de sus características geomorfológicas y geográficas, así como de las actividades humanas (pesquerías, sedimentación, entre otras) que se realizan en el área de estudio.

**Contenido**

i.	Agradecimientos.....	ii
ii.	Resumen.....	iii
iii.	Índice de cuadros.....	vi
iv.	Índice de figuras.....	vii
1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	4
3.	Objetivos.....	6
3.1.	Objetivo general.....	6
3.2.	Objetivos particulares.....	6
4.	Hipótesis.....	7
5.	Materiales y métodos.....	8
5.1.	Área de estudio.....	8
5.2.	Trabajo de campo.....	10
5.3.	Análisis de datos.....	11
6.	Resultados.....	14
6.1.	Esfuerzo de muestro.....	14
6.2.	Riqueza de especies.....	14

6.3.	Composición de especies.....	18
6.4.	Elementos estructurales del hábitat bentónico...	22
6.5.	Ensamblaje coralino y factores ambientales.....	22
7.	Discusión.....	24
7.1.	Riqueza y equidad de especies.....	24
7.2.	Estructura de los ensamblajes coralinos.....	27
7.3.	Condición de los arrecifes.....	30
8.	Conclusiones.....	33
9.	Literatura citada.....	35



**Índice de cuadros**

1. Cuadro 1.- Lista taxonómica y registro de las especies de corales hermatípicos por sitio de muestreo en el MNMACC, Honduras. ....19
2. Cuadro 2.- Índices de diversidad y equidad de especies de coral para los cinco sitios de muestreo en el MNMACC, Honduras. ....20
3. Cuadro 3.- Resultados del análisis de similitudes (ANOSIM) de una vía para comparar la estructura del ensamblaje de corales hermatípicos en los cinco sitios de muestreo del MNMACC, Honduras. ....22
4. Cuadro 4.- Resultados del análisis de similitud en porcentaje (SIMPER) por APESCO en el área protegida del MNMACC, Honduras. ....23

## Índice de figuras

Figura 1.- Área de estudio y ubicación de los cinco sitios de muestreo dentro del MNMACC, Honduras.	.....10
Figura 2.- Esquema de distribución de los transectos para cada sitio de muestreo.	.....12
Figura 3.- Evaluación del esfuerzo de muestreo con curvas de acumulación de especies observadas y especies estimadas con Bootstrap.	.....18
Figura 4.- Análisis de agrupamiento de los sitios al 75% de similitud y escalonamiento multidimensional no métrico (MDS) con las coberturas de corales hermatípicos.	.....24
Figura 5.- Gráficos de barras y bigotes de las variables representativas de la geomorfología y de los ensamblajes bentónicos en cada uno de los sitios de muestreo de Cayo Cochinos, Honduras.	.....26

## 1. Introducción

Los arrecifes coralinos son uno de los ecosistemas marinos con mayor biodiversidad del planeta, ya que generan múltiples nichos ecológicos que son ocupados por una gran cantidad de especies (Jackson *et al.* 2001). Además estos arrecifes proveen diferentes bienes y servicios ecosistémicos para el bienestar humano (Knowlton y Jackson 2001). Algunos bienes son la producción de proteína para alimentos y pesquerías (Cesar 2002), compuestos para medicinas, especies para acuarios, entre otros. Los servicios del ecosistema son determinantes para la estructura de la línea de costa, protección de playas y acreción de arena, así como para el mantenimiento de redes alimenticias, ciclos bio-geoquímicos, actividades de recreación y turismo (Cesar 2002). Es por ello que muchos asentamientos humanos costeros dependen de los arrecifes para su sustento social y económico (Burke y Maidens 2005).

Los corales hermatípicos junto con las algas calcáreas costrosas, son los organismos constructores más importantes de los arrecifes coralinos (Sorokin 1995, Muller-Parker y D'Elia 1997). Los corales son organismos sésiles que producen un exoesqueleto de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), lo que permite generar grandes arreglos calcáreos que conforman la estructura del arrecife (Done *et al.* 1996). Por lo tanto la estabilidad física del arrecife depende de la muerte y crecimiento de estos organismos bentónicos (Knowlton y Jackson 2001), debido a que la tasa de bio-construcción debe de superar a la tasa de bio-erosión para garantizar su persistencia (Done *et al.* 1996).

Una de las regiones de arrecifes coralinos más importantes en el mundo es el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), que es visto como un punto caliente (“hot-spot” en inglés) de biodiversidad en el Mar Caribe (Arias-González *et al.* 2008). Sin embargo, en el SAM existen numerosos arrecifes que están bajo un estrés crónico y constante, que ha dado como resultado una disminución en las coberturas de corales, y por consiguiente, el aumento de macroalgas carnosas y enfermedades frecuentes (Kramer 2003). Aunque en esta región existen también arrecifes con condiciones consideradas adecuadas, porque presentan extensas áreas de coral vivo, y además, tienen un estatus como Áreas Marinas Protegidas (AMP). Un ejemplo de esto podría ser el Monumento Nacional Marino Archipiélago Cayo Cochinos (MNMACC) en Honduras.

El Archipiélago Cayo Cochinos posee arrecifes coralinos donde se desarrollan pocas actividades de origen antropocéntrico, debido a que existen sólo asentamientos humanos pequeños de garífunas, un grupo étnico afroamericano que reside en Centroamérica (Andraka *et al.* 2004). Ellos extraen diversos recursos pesqueros de forma artesanal como pesca de subsistencia o autoconsumo. Existen también otras actividades como el turismo de bajo impacto, las cuales son coordinadas por la organización no gubernamental Fundación Cayo Cochinos que administra esta área protegida.

El MNMACC es considerado que forma parte de un sistema interconectado de hábitats costeros y corrientes marinas que se extienden más allá de la cuenca del Mar Caribe (Andraka *et al.* 2004, Paris y Cherubin 2008). Por lo que el estado de este arrecife afecta a otros ecosistemas costeros dentro del SAM. Por esta razón es importante conocer la riqueza, heterogeneidad y

abundancia de corales hermatípicos y de otros elementos de la estructura en el hábitat del arrecife coralino del MNMACC, para poder apoyar las políticas y estrategias que garanticen el manejo y conservación de su biodiversidad.

## 2. Antecedentes

En el SAM se han realizado diversos trabajos sobre la condición de diferentes arrecifes coralinos. Entre estos trabajos destacan los de Ruíz-Zarate *et al.* (2003), Kramer (2003), Burke y Maidens (2005), Rodríguez-Zaragoza (2007) y Arias-González *et al.* (2008). En dichos trabajos se analiza la cobertura total de coral vivo como un indicador de la condición del arrecife y su relación con la biomasa y diversidad de peces de arrecife.

Kramer (2003) analizó la condición de 20 arrecifes localizados en diferentes sitios del Mar Caribe. Él encontró que existe una condición diferente entre los arrecifes con base en la composición y abundancia de las especies coralinas. Asimismo, estimó las coberturas promedio de coral vivo y macroalgas para todo el Caribe; y resaltó que las especies del complejo *Montastrea* que son las especies que actualmente poseen la mayor abundancia del Mar Caribe. Burke y Maidens (2005) describieron también el estado y el funcionamiento ecosistémico de algunos arrecifes del Caribe con base en el análisis de la comunidad béntica.

En el Caribe Mexicano Ruíz-Zarate *et al.* (2003) caracterizaron ocho sitios de arrecifes, destacando, la composición de especies y el porcentaje de cobertura en estos sitios; así como, las relaciones existentes entre la cobertura de coral, el diámetro máximo de las colonias, la densidad de reclutas de coral y la cobertura de coral vivo. Por su parte, Rodríguez-Zaragoza (2007) hizo un análisis de la diversidad biológica y ecológica de corales hermatípicos en 11 sitios de arrecifes, donde encontró que las especies submasivas del género *Montastrea* son las que determinan mayormente la riqueza, diversidad y

abundancia de corales hermatípicos. En estos mismos 11 sitios de arrecife, Arias-González *et al.* (2008) evaluaron las variables ambientales y espaciales que determinan la diversidad beta de corales en múltiples escalas espaciales, evidenciaron, que la cobertura de coral vivo es la variable predictiva más importante.

En Honduras, Harbone *et al.* (2001) caracterizaron los diferentes ecosistemas costeros y describieron su importancia dentro del SAM. Ellos mencionaron que la costa de Honduras es un punto importante para la dispersión de las especies, esto debido a la fuerza de las corrientes. Sin embargo, en este trabajo se comenta que se han realizado estudios enfocados principalmente a la taxonomía y sistemática de las especies marinas de la región como: Bermingham *et al.* (1998), Guzmán (1998), Jacome (1998), Ogden y Ogden (1998). Además, Harbone *et al.* (2001) resaltaron la falta de estudios más amplios sobre las comunidades de los arrecifes coralinos y de su funcionamiento ecosistémico.

En el MNMACC, Bermingham *et al.* (1998) publicaron sólo listas taxonómicas de organismos terrestres y aves marinas que habitan en los cayos del archipiélago. Otros estudios como el de Guzmán (1998) y Medina (2005) han descrito la variación de la estructura de los ensamblajes de peces de arrecife y su relación con la estructura del hábitat bentónico dentro esta área protegida. De igual forma, proporcionaron listas taxonómicas de los peces del arrecife de esta protegida. Por su parte, Guzmán (1998) generó también una lista de las especies de corales hermatípicos que se encuentran en Cayo Cochinos. De igual manera, otros trabajos mencionan las características

geológicas del área (Ogden y Ogden 1998), las especies de decápodos (Jacome 1998) y equinodermos (Lessios 1998) de la región.

Los trabajos previamente mencionados no abordan el tema de la composición, abundancia y heterogeneidad de las diferentes especies de corales hermatípicos que se encuentran en Cayo Cochinos, por lo que este trabajo describió la estructura del ensamblaje de corales hermatípicos y el hábitat bentónico del arrecife existente. Esta información contribuirá para el diseño de las estrategias del manejo de los arrecifes del MNMACC.



### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Analizar la variación espacial del ensamblaje de corales hermatípicos en el Archipiélago de Cayo Cochinos, Honduras.

#### **3.2 Objetivos particulares**

- Evaluar la riqueza, heterogeneidad y abundancia de los corales hermatípicos en cinco sitios de muestreo.
- Comparar los ensamblajes de corales hermatípicos entre estos sitios.
- Identificar las especies de corales hermatípicos que mayor contribuyen al ensamblaje de cada sitio.
- Identificar cuales elementos estructurales del hábitat bentónico se correlacionan con la riqueza, diversidad, composición y abundancia de las especies coralinas.

#### **4. Hipótesis**

La riqueza, equidad y composición de especies de corales hermatípicos de Cayo Cochinos se relacionan principalmente con la cobertura total de coral vivo, la disponibilidad de sustrato calcáreo, la cobertura de macroalgas carnosas y algas calcáreas articuladas o costrosas y la cantidad de sustrato arenoso. Por lo tanto, los arrecifes coralinos con condiciones más óptimas presentarán una riqueza y equidad de especies más alta, así como una mayor cobertura total de coral vivo y una baja cobertura de macroalgas carnosas.

## 5. Materiales y métodos

### 5.1 Área de estudio

El Monumento Natural Marino Archipiélago Cayos Cochinos (MNMACC) pertenece al Departamento de Islas de la Bahía en Honduras, ubicado en las coordenadas 15°57'N y 86°29'O (Figura 1). El archipiélago se encuentra en un área relativamente estable con pocos volcanes y terremotos, y sin fosa oceánica ni subducción (Coates 2003). Los picos de la cordillera Nombre de Dios se extienden por debajo del agua hacia el noroeste, emergiendo como el complejo Islas de la Bahía que incluye a Cayos Cochinos. Los esquistos metamórficos deformados y batolitos caracterizan las dos islas del archipiélago, mientras que los cayos menores del archipiélago son de origen coralino (Coates 2003). El perfil batimétrico es claramente diferente entre el norte y el sur del área protegida. En el norte predominan zonas profundas entre 30 y 100 m, con pocas zonas someras. En contraste, en el sur predominan bajos de entre 5 y 30 m de profundidad, con fosas que alcanzan los 40 m. En la zona circundante a los cayos, la profundidad llega hasta los 30 m (Birmingham *et al.* 1998).

El archipiélago está influenciado por la cuenca del Río Agúan y el Río Papaloteca. La dinámica fluvial activa favorece la deposición de sedimentos transportados por el río, que son de característica arenosa derivados del tipo de geología granítica que predomina en las rocas de la cuenca alta del río Papaloteca en la montaña Nombre de Dios (Castañeda 2002). La temperatura media anual oscila entre 25 y 29°C. La precipitación pluvial puede sobrepasar

los 2,000 mm anuales (Brenes *et al.* 1998). La influencia de la corriente del Caribe, que fluye hacia el Oeste, determina la poca variación anual de temperatura y salinidad, a pesar de la intensa precipitación (Coates 2003).

Cayo Cochinos tiene una superficie de 485,337 km<sup>2</sup> y se conforma por dos islas boscosas de origen volcánico nombradas como Cayo Mayor y Menor, las cuales se ubican en la zona central del área protegida. Asimismo existe un grupo disperso de 12 cayos: Chachahuate, Chachahuate Dos, Cordero, Redondo, Balfate, Largo Arriba, Largo Abajo, Timón, Culebra, Gallina, Paloma y Bolaño (Andraka *et al.* 2004). En la periferia de las islas y cayos se presentan mayormente hábitats arenosos, con parches coralinos pequeños y profundos, excepto de las partes oeste donde se desarrollan arrecifes coralinos de tipo costero a profundidades de 1 a 25 m, jardines de octocorales y camas de pastos marinos (HCRF/WWF 2004, Andraka *et al.* 2004).

## 5.2 Trabajo de campo

Los datos que se analizaron en este trabajo fueron recolectados en muestreos en campo realizados en Febrero de 2008 por el personal de World Wildlife Fund (WWF), la Fundación Cayo Cochinos y la comunidad de pescadores garífunas. En Cayo Cochinos, los sitios de muestreo se eligieron *a priori* con base en el conocimiento de pescadores y de las autoridades del área. Estos fueron: Punta Pelícanos (PP), La Grupera (GP), Mariposales (MP) y Salamandinga (SM) y Roatan Bank (RB), ubicados a una distancia del Cayo

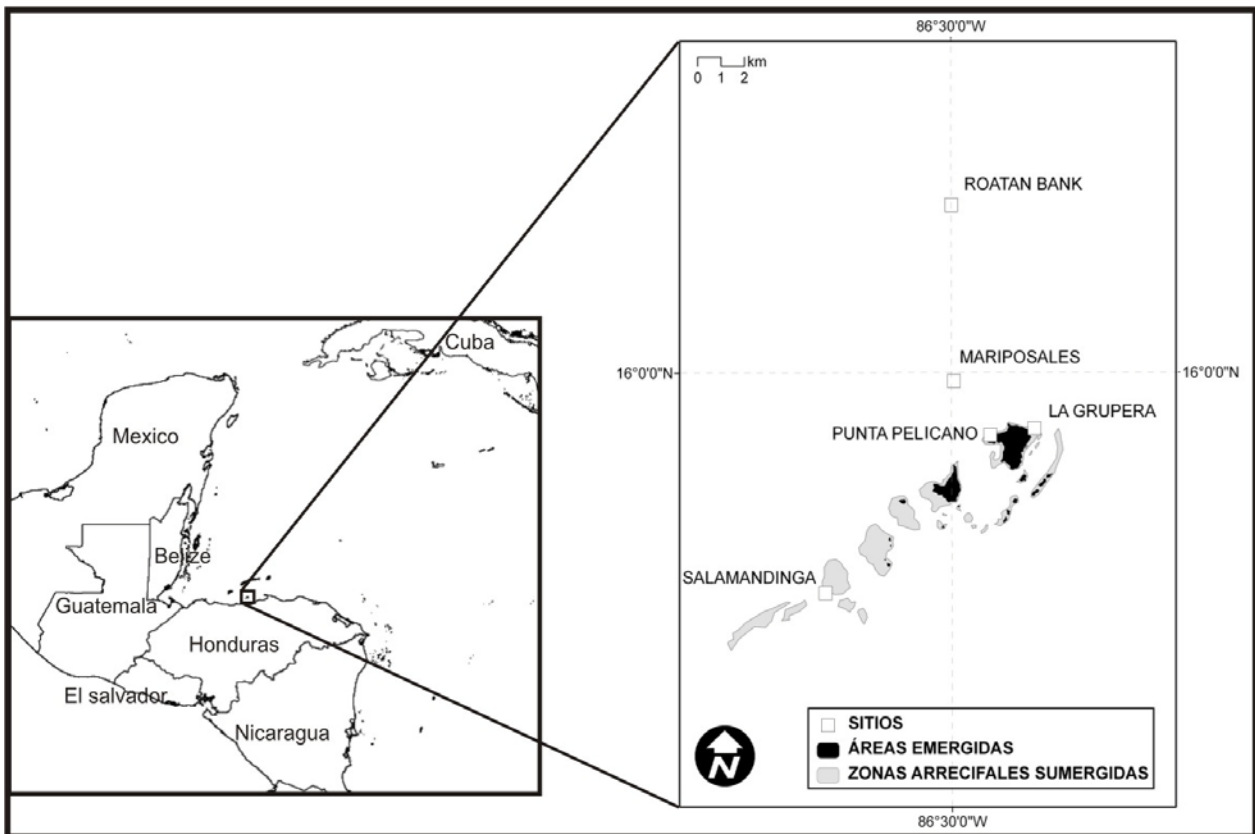


Figura 1.- Área de estudio y ubicación de los cinco sitios de muestreo en el Monumento Nacional Marino Archipiélago Cayo Cochinos, Honduras (Figura proporcionada por Gilberto Acosta-González, CINVESTAV-Unidad Mérida).

Mayor de 2.7 km, 3.9 km, 5.2 km, 7 km y 11.2 km, respectivamente.

Para el muestreo se aplicó un diseño de muestreo jerárquico anidado no balanceado (Figura 2), donde el número de muestras no fue el mismo entre los sitios. Esto se debió a dificultades de logística y por condiciones oceanográficas no apropiadas durante el trabajo de campo. Las muestras correspondieron a 56 videotransectos (50 m x ~0.40 m cada uno) filmados a 0.4 m del sustrato. En cada videotransecto se revisaron 40 cuadros de video con 13 puntos generando un total de 520 puntos sistemáticos-aleatorios por videotransecto, para estimar la riqueza y cobertura de corales hermatípicos, grupos morfo-funcionales bentónicos (Dodge *et al.* 1982, Aronson *et al.* 1994, Acosta-González 2005, Arias-González *et al.* 2008). Los grupos morfo-funcionales fueron caracterizados según los criterios de Acosta-González (2005) y Arias-González *et al.* (2008): hidrocorales (*Millepora* spp.), octocorales (e.g *Plexaurella* spp, *Gorgonia* spp, *Pterogorgia* spp. entre otros), esponjas, macroalgas carnosas (*Dictyota* spp. *Padina* spp. entre otras), céspedes algales (<10 mm de altura), algas calcáreas costrosas (*Anadyomene* spp., *Valionia* spp. entre otras), algas calcáreas articuladas (*Halimeda* spp.), otros organismos vágiles y sésiles (peces, artrópodos, equinodermos, palitthoas entre otros), y tipos de sustrato (arena, escombros y rocoso calcáreo).

El porcentaje de cobertura se estimó de la siguiente manera:

$$\%C = \frac{a}{b} \times 100 \quad (1)$$

donde %C es el porcentaje de cobertura, *a* es la cantidad de puntos que correspondieron a cada tipo de organismo bentónico o tipo de sustrato, y *b* es el número total de puntos por videotransecto (520 en total).

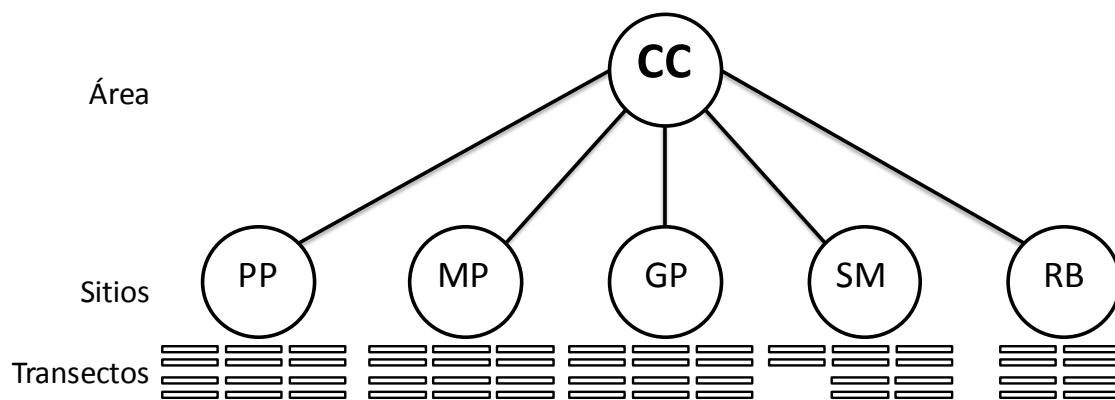


Figura 2.- Diseño de muestreo de los transectos realizados para cada sitio de muestreo. Códigos: PP es Punta Pelicanos, MP es Mariposales, GP es La Gruperá, SM es Salamandinga, RB; es Roatan Bank y CC es Cayo Cochinos.

Por otro lado, en cada transecto se tomaron mediciones del relieve del fondo con una cinta métrica de 10 m de longitud. Posteriormente se midió la distancia lineal de la cadena, y con esta información, se calculó el índice de complejidad topográfica con la siguiente fórmula (Aronson *et al.* 1994):

$$CT = 1 - (Lc / Lt) \quad (2)$$

donde  $CT$  es la complejidad topográfica,  $Lc$  es el largo de la cadena y  $Lt$  es la medida del relieve del fondo tomada con la cinta métrica (Aronson *et al.* 1994). El valor del índice va de 0 a 1, aumentando, de acuerdo a la complejidad del fondo. Es decir, a mayor relieve vertical la  $CT$  tiende hacia 1. Por último, la profundidad de cada transecto se registró en metros con computadoras de buceo.

### 5.3 Análisis de datos

El esfuerzo de muestreo para toda el área de estudio se analizó con curvas de acumulación de especies (función Mao tau), procedimientos *Bootstrap*, así como índices de diversidad de Simpson ( $1-D$ ) y Shannon ( $H'$ ). Las fórmulas del *Bootstrap*,  $1-D$  y  $H'$  son:

$$S_{boot} = S + \sum_{i=1}^S (1 - P_k)^m \quad (3)$$

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (4)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (5)$$

donde  $D$  es el índice de dominancia de Simpson,  $H'$  es índice de Shannon y Wennier  $P_i$  es la abundancia proporcional de la especie  $i$ ,  $S$  es el número total de especies o la riqueza específica,  $P_k$  es la proporción de las muestras de la



especie  $k$  y  $m$  es el número total de muestras. Las curvas de acumulación de especies fueron construidas con 10,000 combinaciones aleatorias sin reemplazo con el programa Estimates V8.0 (Colwell 2009). La equidad de especies se analizó con el índice de Pielou ( $J'$ ), expresado con la siguiente ecuación:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln S} \quad (6)$$

donde  $H'$  es el índice de Shannon y Wiener,  $H'_{\max}$  es diversidad máxima que puede alcanzar el sitio en un escala logarítmica que es igual a  $\ln S$ .

Las coberturas de coral, grupos morfo-funcionales (corales hermatípicos, hidrocorales, octocorales, esponjas, macroalgas carnosas, céspedes algales, algas calcáreas costrosas, algas calcáreas articuladas, otros organismos), tipos de sustrato (escombros, sustrato arenoso, sustrato rocoso-calcáreo), complejidad topográfica y profundidad, se contrastaron entre los sitios con pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis. Esto debido a que la mayoría de las variables no cumplieron con los supuestos estadísticos univariados paramétricos (presencia de datos extremos, ajuste a la distribución Gaussiana e igualdad de varianzas). Por lo que se utilizaron las medianas de estas variables como medidas de tendencia central. Para comparar diversidad ( $H'$ ) entre los sitios se usó la prueba  $t$  de Hutchenson (Zar 1996). Los análisis univariados se hicieron en el programa Minitab V12.

La similitud entre los ensamblajes de coral se comparó con un análisis de similitudes (ANOSIM) de una vía. La significancia estadística del ANOSIM se probó con 10,000 permutaciones (Clarke 1993). La contribución de las

especies a la similitud promedio por sitio de muestreo se estimó con un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER). Para identificar los sitios con mayor similitud en sus ensamblajes se utilizó un análisis de clasificación y un análisis de escalonamiento multidimensional no métrico (MDS) (Clarke 1993). Estos análisis se basaron en matrices de semejanza construidas con datos transformados con raíz cuarta y el coeficiente de similitud Bray-Curtis. Los análisis multivariados se realizaron en Primer V6 (Clarke 1993).

La correlación entre las matrices con variables biológicas y ambientales se hizo con la rutina BEST (Clarke 1993, Clarke y Warwick 2001). Se construyeron dos matrices biológicas: una representativa de la diversidad coralina generada con los índices de riqueza, diversidad y equidad de especies; otra correspondiente a la estructura del ensamblaje de especies con la composición y abundancia de los corales. La matriz ambiental se hizo con el porcentaje de las coberturas totales de coral vivo, hidrocorales, esponjas, octocorales, macroalgas carnosas, céspedes algales, algas calcáreas costosas, algas calcáreas articuladas, otros organismos, sustratos arenoso, rocoso-calcáreo y escombros. Asimismo se usó el índice de complejidad topográfica y la profundidad. Se seleccionó el procedimiento BIO-ENV (Clarke 1993, Clarke y Warwick 2001), el cual toma una matriz de similitud Bray-Curtis y la compara con una matriz abiótica. Para ello se usó una correlación no paramétrica de Spearman entre las variables ambientales y biológicas. La significancia estadística se probó con 10,000 permutaciones (Clarke 1993).

## 6. Resultados

### 6.1 Esfuerzo de muestro

El análisis del esfuerzo de muestreo demostró que éste sí fue representativo al nivel de toda el área de estudio. En las curvas acumuladas de especies observadas contra las de especies estimadas por Bootstrap no se encontraron diferencias significativas (Figura 3A). Asimismo, las curvas acumuladas de los índices de Simpson y Shannon mostraron una asíntota que representa un registro adecuado de las especies de corales (Figuras 3B y 3C).

### 6.2 Riqueza y equidad de especies

Se registraron un total de 22 especies de corales hermatípicos correspondientes a 13 géneros y 10 familias (Cuadro 1). Los sitios estudiados tuvieron una riqueza de especies similar entre sí, pero diferente en composición de especies. Punta Pelicano, La Grupera y Salamandinga presentaron 17 especies cada uno, en cambio Mariposales y Roatan Bank tuvieron 16 especies. Los índices de diversidad mostraron una equidad de especies alta entre los sitios con valores de  $J' \geq 0.75$  (Cuadro 2). La diversidad de Simpson ( $1-D$ ) fue mayor en Punta Pelicano y Rotan Bank con un valor de 0.89, mientras que fue menor en Mariposales con 0.87, La Grupera con 0.86 y Salamandinga con 0.81. En este estudio se evidenció que la diversidad de Shannon no fue significativamente diferente entre los sitios presentaron un valor entre 2.13 y 2.46 nits (Cuadro 2, Figura 3). Por otro lado las pruebas t de Hutchenson

mostraron que no existen diferencias significativas ( $0.07 \leq t_H \leq 0.92$ ,  $0.37 \leq p \leq 0.95$ ) entre la diversidad de Shannon ( $H'$ ) de los sitios.

### 6.3. Composición de especies

La estructura del ensamblaje de corales fue significativamente diferente entre los sitios (Cuadro 3), excepto entre Punta Pelicano y La Grupera, Punta Pelicano y Mariposales, Punta Pelicano y Salamandinga, y por último, La Grupera y Salamandinga. Los sitios de Roatan Bank y Mariposales mostraron la composición de especies más diferente a la observada en los demás sitios (Cuadro 4). Las especies más importantes por sitio fueron: 1) en Punta Pelicanos: *Porites astroides*, *Agaricia agaricites*, *Montastrea annularis* y *Siderastrea* spp.; 2) en Mariposales: *Montastrea cavernosa*, *A. agaricites*, *Diploria laberintiformes* y *P. astroides*; 3) en La Grupera: *P. astroides*, *Siderastrea* spp. y *A. agaricites*; 4) en Salamandinga: *P. astroides*, *Agaricia teunifolia*, *A. agaricites* y *M. annularis*; 5) en Roatan Bank: *A. agaricites*, *M. cavernosa*, *P. astroides*, *Montastrea faveolata*, *D. laberintiformes* y *Montastrea franksi* (Cuadro 4).

Los análisis de clasificación y ordenación MDS asociaron a La Grupera, Punta Pelicanos y Salamandinga dentro un grupo con ensamblajes de corales similares en un 75% de similitud. En cambio éstos aislaron a Roatan Bank y a Mariposales porque poseen ensamblajes de especies más disímiles (Figura 4). Este patrón correspondió a los resultados del ANOSIM (Cuadro 3).

Cuadro 1.- Lista taxonómica y registro de las especies de corales hermatípicos por sitio de muestreo en el MNMACC, Honduras. Los códigos de los sitios son: PP es Punta Pelicanos, GP es La Gruperá, MP es Mariposales, SM es Salamandinga y RB es Roatan Bank.

Familia	Especie	PP	GP	MP	SM	RB
Acroporidae	<i>Acropora cervicornis</i>	x				
	<i>Acropora palmata</i>		x			
Agaricidae	<i>Agaricia agaricites</i>	x	x	x	x	x
	<i>Agaricia carinata</i>			x		
	<i>Agaricia tenuifolia</i>	x	x	x	x	x
Astrocoeniidae	<i>Stephanochoenia</i> spp.	x	x			
Caryophyllidae	<i>Eusmilia fastigiata</i>	x	x	x	x	x
Faviidae	<i>Colpophylia natans</i>	x	x	x	x	
	<i>Diploria clivosa</i>				x	x
	<i>Diploria laberintiformes</i>	x	x	x	x	x
	<i>Diploria strigosa</i>	x	x	x	x	x
	<i>Montastrea annularis</i>	x	x	x	x	x
	<i>Montastrea cavernosa</i>	x	x	x	x	x
	<i>Montastrea faveolata</i>	x	x		x	x
	<i>Montastrea franksi</i>		x	x	x	x
Meandrinidae	<i>Dichocoenia stokessi</i>			x	x	
	<i>Meandrina meandrites</i>	x	x	x	x	x
Mussidae	<i>Mycetophylia</i> spp.	x			x	x
Pocilloporidae	<i>Madrasis</i> spp.	x	x	x		x
Poritidae	<i>Porites astroides</i>	x	x	x	x	x
	<i>Porites porites</i>	x	x	x	x	x
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i> spp.	x	x	x	x	x
	Total	17	17	16	17	16

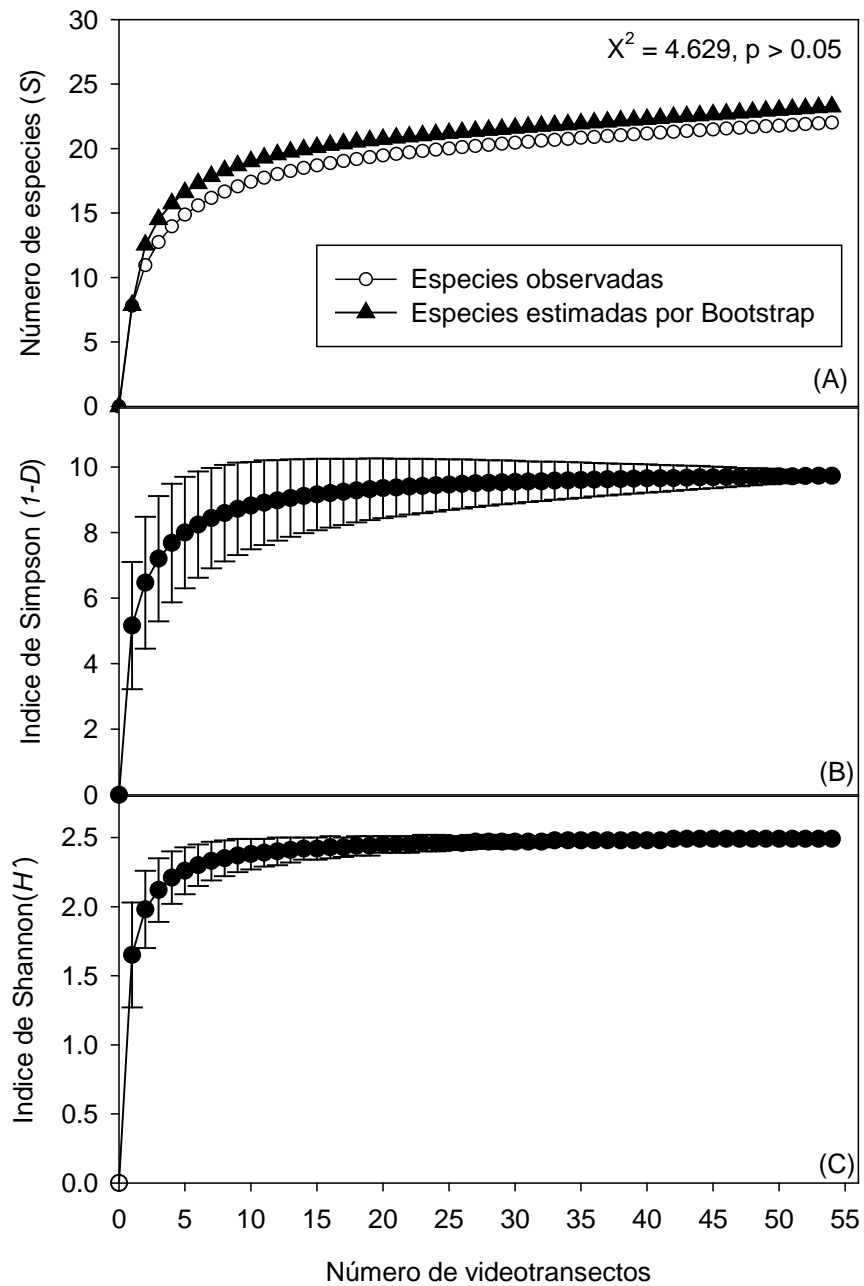


Figura 3.- Evaluación del esfuerzo de muestreo con curvas de acumulación de especies observadas (función Mao Tau) y especies estimadas con Bootstrap (A), índices de Simpson (B) y Shannon (C) para el área del MNMACC, Honduras.

Cuadro 2.- Índices de riqueza, diversidad y equidad de especies de corales para los cinco sitios de muestreo en el MNMACC, Honduras. *S*: número de especies, *H'*: índice de Shannon log natural, *J'*: índice de diversidad de Pielou, *1-D*: inverso del índice de Simpson.

Sitios	<i>S</i>	<i>H'</i> (nits)	<i>J'</i>	<i>1-D</i>
Punta Pelicanos	17	2.41	0.85	0.89
La Grupera	17	2.23	0.79	0.86
Salamandinga	17	2.13	0.75	0.81
Mariposales	16	2.26	0.82	0.87
Roatan Bank	16	2.46	0.89	0.89

Cuadro 3.- Resultados del análisis de similitudes (ANOSIM) de una vía para comparar la estructura del ensamblaje de corales hermatípicos en los cinco sitios de muestreo del MNMACC, Honduras. Los códigos de los sitios son: PP es Punta Pelicanos, GP es La Gruperá, MP es Mariposales, SM es Salamandinga y RB es Roatan Bank.

Prueba	Estadístico <i>R</i>	Significancia (%)
<u>Global</u>	0.172	0.01
<u>Pareadas</u>		
PP, GP	0.055	16.4
PP, MP	0.162	2.0
PP, SM	0.045	18.8
PP, RB	0.273	0.4
GP, MP	0.206	0.6
GP, SM	0.052	16.4
GP, RB	0.324	0.3
MP, SM	0.196	0.8
MP, RB	0.315	0.2
SM, RB	0.275	0.6



Cuadro 4.- Resultados del análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) por APESCO en el área protegida del el MNMACC, Honduras. Códigos: %Cob es porcentaje de cobertura por sitio, %C es porcentaje de contribución a la similitud promedio por sitio, %Cum es porcentaje de contribución acumulada a la similitud promedio por sitio.

<b>Punta Pelicanos</b>				<b>La Grupera</b>			
<i>Especies</i>	%Cob	%C	%Cum	<i>Especies</i>	%Cob	%C	%Cum
<i>P. astroides</i>	1.73	24.37	24.37	<i>P. astroides</i>	1.66	31.33	31.33
<i>A. agaricites</i>	0.92	15.19	39.56	<i>Siderastrea</i> spp.	0.83	28.43	59.75
<i>M. annularis</i>	1.40	13.6	53.15	<i>A. agaricites</i>	0.75	16.29	76.05
<i>Siderastrea</i> spp.	0.70	13.19	66.35	<i>A. teunifolia</i>	0.67	6.33	82.38
<i>M. cavernosa</i>	0.68	11.03	77.38	<i>M. annularis</i>	0.72	5.09	87.46
<i>D. strigosa</i>	0.84	9.78	87.15	<i>D. strigosa</i>	0.60	4.80	92.27
<i>A. teunifolia</i>	1.40	2.55	89.70	<i>M. cavernosa</i>	0.28	3.61	95.87
<i>Mycetophyllia</i> spp.	0.20	2.29	91.99				
<i>P. porites</i>	0.36	2.22	94.22				
<i>M. Faveolata</i>	0.28	2.11	96.33				
<b>Mariposales</b>				<b>Salamandinga</b>			
<i>Especies</i>	%Cob	%C	%Cum	<i>Especies</i>	%Cob	%C	%Cum
<i>M. cavernosa</i>	0.78	21.74	21.74	<i>P. astroides</i>	1.23	21.10	21.10
<i>A. agaricites</i>	0.86	19.89	41.63	<i>A. teunifolia</i>	3.80	19.61	40.72
<i>D. laberintiformes</i>	0.61	16.19	57.82	<i>A. agaricites</i>	1.15	17.18	57.90
<i>P. astroides</i>	1.6	11.88	69.7	<i>M. annularis</i>	0.65	10.50	68.40
<i>Siderastrea</i> spp.	0.5	9.56	79.26	<i>D. strigosa</i>	0.80	9.98	78.38
<i>M. annularis</i>	0.8	8.02	87.28	<i>Siderastrea</i> spp.	0.78	9.67	88.05
<i>A. teunifolia</i>	0.96	5.35	92.63	<i>M. cavernosa</i>	0.64	7.01	95.06
<i>M. mendrites</i>	0.15	4.36	96.98				
<b>Roatan Bank</b>				<b>Roatan Bank (continuación)</b>			
<i>Especies</i>	%Cob	%C	%Cum	<i>Especies</i>	%Cob	%C	%Cum
<i>A. agaricites</i>	3.29	19.32	19.32	<i>A. teunifolia</i>	1.40	5.77	74.70
<i>M. cavernosa</i>	1.99	14.57	33.88	<i>M. annularis</i>	0.96	4.97	79.67
<i>P. astroides</i>	1.65	11.55	45.44	<i>Siderastrea</i> spp.	0.55	4.80	84.47
<i>M. faveolata</i>	1.89	8.30	53.74	<i>P. astroides</i>	0.76	4.64	89.11
<i>D. laberintiformes</i>	0.88	8.19	61.93	<i>M. mendrites</i>	0.62	4.11	93.22
<i>M. franksi</i>	0.96	7.00	68.93	<i>D. strigosa</i>	0.76	3.71	96.93

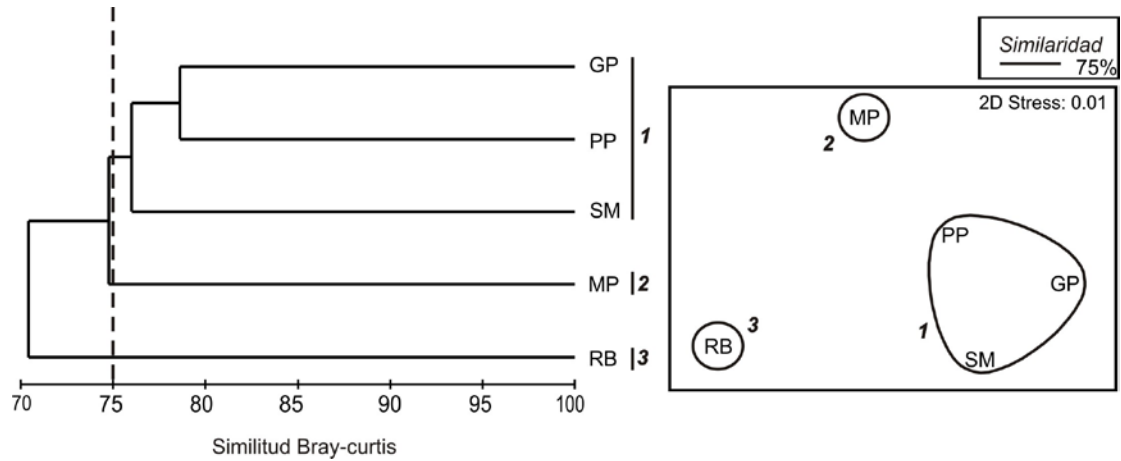


Figura 4.- Análisis de agrupamiento de los sitios con una similitud del 75%, y Escalonamiento multidimensional no métrico (MDS) con las coberturas de corales hermatípicos. Los códigos de los sitios son: PP es Punta Pelicanos, GP es La Grupera, MP es Mariposales, SM es Salamandinga y RB es Roatan Bank.

#### 6.4 Elementos estructurales del hábitat bentónico

La cobertura total de coral vivo presentó diferencias fuertes entre las áreas (Figura 5). Se estimaron las mayores coberturas de coral en Roatan Bank con 16.5%, y en Salamandinga con 10.5%. En cambio, se calcularon los menores valores en Punta Pelicanos con 9.8%, La Grupera con 7.6% y Mariposales con 6.9% (Figura 5). De igual manera la cobertura del sustrato arenoso, octocorales, escombro y profundidad tuvieron también diferencias estadísticas entre los sitios. En contraste no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura de hidrocorales, esponjas, macroalgas carnosas, algas calcáreas articuladas, otros organismos, sustrato rocoso-calcáreo y complejidad topográfica (Figura 5).

#### 6.5. Ensamblaje coralino y factores ambientales

El análisis BEST identificó que las variables con mayor correlación con la matriz construida con los índices de riqueza, equidad y diversidad de especies coralinas fueron: las coberturas de macroalgas carnosas y los sustratos arenosos y rocosos-calcáreos ( $\rho = 0.806$ ,  $p = 2.6\%$ ). Por otro lado, las variables que mayor se correlacionaron con la matriz representativa de la estructura del ensamblaje (composición y abundancia de especies) de corales fueron: la cobertura total de coral vivo y las coberturas de hidrocorales, algas articuladas calcáreas, sustrato arenoso y sustrato rocoso-calcáreo ( $\rho = 0.927$ ,  $p = 2.4\%$ ).

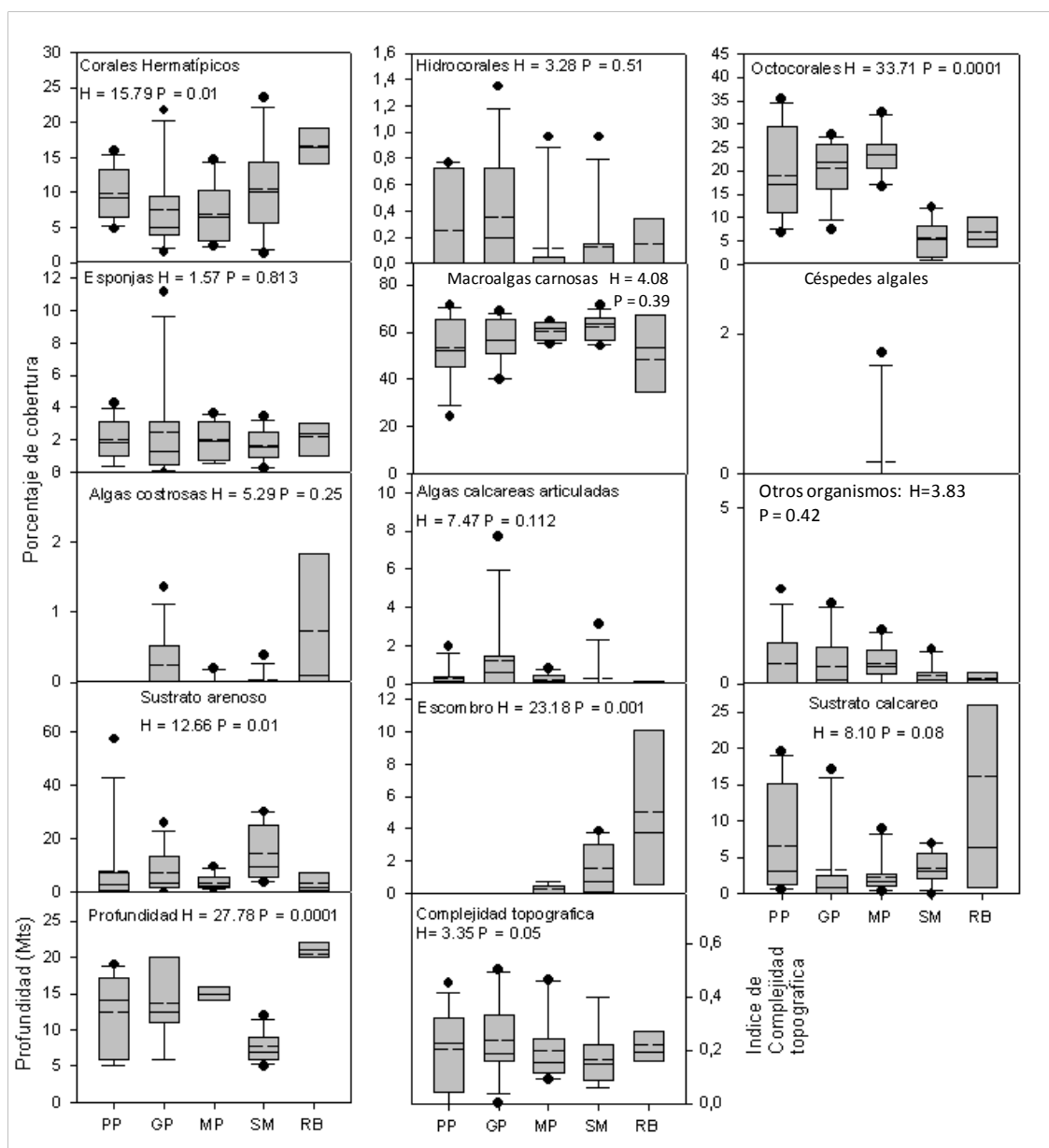


Figura 5.- Gráficos de barras y bigotes de las variables representativas de la geomorfología y de los ensamblajes bentónicos en cada uno de los sitios de arrecife de Cayo Cochinos, Honduras. Se presentan las medianas con una línea continua; la media se indica con una línea segmentada; las cajas representan los percentiles del 25% y 75%; las barras de error son los percentiles del 5% y 95%; los puntos corresponden a los datos aberrantes o extremos. Las comparaciones estadísticas correspondieron a pruebas no paramétricas Kruskal-Wallis (H). Los códigos de los sitios son: PP es Punta Pelicanos, GP es La Grupera, MP es Mariposales, SM es Salamandringa, RB es Roatan Bank.

## 7. Discusión

### 7.1. Riqueza y equidad de especies

El esfuerzo de muestro analizado en este trabajo fue representativo para toda el área de Cayo Cochinos, lo que significa que la riqueza de especies fue correctamente registrada. Esto es corroborado al no encontrar diferencias significativas entre las especies observadas con la función Mau Tao y las especies estimadas con Bootstrap. Además, las curvas Mau Tao y Bootstrap tendieron a un comportamiento asintótico. De manera similar, las curvas de la diversidad de Simpson y Shannon tuvieron una asíntota clara, que significa que el muestreo registró de manera adecuada la estructura del ensamblaje de las especies coralinas de Cayo Cochinos.

En este trabajo se registraron un total de 22 especies de corales hermatípicos para Cayo Cochinos. Este número de especies es menor a las 66 especies reportadas para el área protegida (Ogden y Ogden 1998, Andraka *et al.* 2004). La diferencia se debe a que la técnica de muestreo que se utilizó en este estudio sólo registra a las especies que caen dentro de los cuadros de video analizados. En cambio, la riqueza de especies reportada en Jimenez (1997) y Andraka *et al.* (2004) (listas detalladas pueden encontrarse en Jimenez 1997) corresponde a trabajos taxonómicos y de recolecta *in situ* en Cayo Cochinos. No obstante, cuando se compara este estudio con otros que utilizan la misma técnica de muestreo se observa una riqueza similar. Por ejemplo, Ruíz-Zarate *et al.* (2003) reportan un total de 24 especies coralinas para algunos sitios de arrecife del Caribe mexicano. Por otro lado, se considera que

Cayo Cochinos tiene una riqueza de especies de coral importante a pesar de su tamaño pequeño, porque posee un 65% (22 especies) de la fauna coralina registrada con métodos no intensivos para la región del Mar Caribe. Esta suposición se basa en la riqueza de 37 especies registradas para el Caribe con métodos de muestreo rápidos AGRAA (“Atlantic and Gulf Rapid Reef Assesment” en inglés) (Kramer 2003). Esto sugiere que Cayo Cochinos presenta una cantidad importante de nichos ecológicos debido a una heterogeneidad considerable en la estructura de sus hábitats de arrecifes.

La diversidad de corales hermatípicos en los sitios estudiados fue similar en riqueza de especies, diversidad de Simpson y Shannon. Todos los sitios estudiados se caracterizaron porque presentaron más del 74% de la diversidad máxima que podrían alcanzar, lo que indica una dominancia baja de especies y una equidad considerable dentro de los ensamblajes de especies. Los resultados del análisis de la diversidad de especies de corales no corresponden con lo observado en otras áreas de arrecife del Mar Caribe, donde los ensamblajes coralinos poseen una dominancia alta, generada principalmente por las especies del complejo *Montastrea* (Kramer 2003, Rodríguez-Zaragoza 2007). En el Caribe mexicano, *Montastrea faveolata* y *Montastrea annularis* poseen coberturas relativas mayores al 60% de la cobertura total de coral vivo (Rodríguez-Zaragoza 2007). En cambio, las especies del género *Montastrea* en Cayo Cochinos poseen del 14% al 35% de la cobertura total viva, y de estas especies *M. faveolata* y *M. annularis* sólo tienen entre el 7% y 28% de la cobertura total de los sitios estudiados, respectivamente. En Cayo Cochinos, las especies coralinas dominantes son *Porites astroides*, *Agaricia teunifolia*, *Agaricia agaricites* y *Siderastrea* spp., que en conjunto, tienen coberturas

relativas de entre el 42% y 67%. Esto genera que los arrecifes de Cayo Cochinos sean diferentes en composición y abundancia de especies coralinas con respecto al patrón observado en la mayoría de los arrecifes caribeños.

El análisis BEST relacionó la riqueza y equidad de especies coralinas con las coberturas de macroalgas carnosas, sustrato arenoso y sustrato calcáreo. En general se encontró que los sitios estudiados que poseen la mayor riqueza y equidad de especies, son aquellos que tienen la mayor cobertura de sustrato calcáreo y los valores más bajos de coberturas de sustrato arenoso y algas carnosas. Esto es debido a que el sustrato calcáreo permite un crecimiento y reclutamiento de colonias de coral, mientras que el sustrato arenoso reduce el reclutamiento y crecimiento de las colonias de coral (Sorokin 1995). Asimismo, las macroalgas carnosas colonizan rápidamente el sustrato, lo que afecta el crecimiento y reclutamiento de corales (Hughes 1994, Arias-González *et al.* 2008). Las macroalgas carnosas afectan a los corales, y a pesar de que no son competidoras fuertes, su tasa de crecimiento propicia que en poco tiempo cubran gran parte del arrecife; además alcanzan tallas altas y generan un efecto de sombra sobre los corales y abrasión sobre sus tejidos (McCook *et al.* 2001). Es probable que la abundancia actual de estas macroalgas carnosas influya la riqueza y equidad de los corales hermatípicos de Cayo Cochinos. Los cambios de fase ocurridos en todo el Caribe desde los años ochenta parecen que han afectado a los arrecifes de Cayo Cochinos, donde las coberturas de estas algas son mayores del 49% de la cobertura total absoluta. Por lo tanto, la disponibilidad del sustrato potencialmente adecuado para el reclutamiento coralino, aunado a la cobertura de macroalgas carnosas, determinan quizás la riqueza y diversidad de los corales hermatípicos. Por este

motivo se considera que es correcta la hipótesis planteada de que la riqueza, equidad y composición de especies de corales hermatípicos de Cayo Cochinos se relacionan principalmente con la cobertura total de coral vivo, la disponibilidad de sustrato calcáreo, la cobertura de macroalgas carnosas y algas calcáreas y la cantidad de sustrato arenoso. Por lo tanto, los arrecifes coralinos con condiciones más óptimas presentarán una riqueza y equidad de especies más alta, así como una mayor cobertura total de coral vivo y una baja cobertura de macroalgas carnosas.

## 7.2. Estructura de los ensamblajes coralinos

La estructura de los ensamblajes coralinos en el Caribe está influenciada por la geomorfología del arrecife y por los diferentes elementos estructurales que componen la comunidad béntica (Arias-González *et al.* 2008). En este trabajo se corrobora esta declaración, debido a que las coberturas totales de coral vivo, hidrocorales, algas articuladas calcáreas, sustrato arenoso y sustrato rocoso-calcáreo, se relacionaron con la composición y abundancia de las especies de coral en los sitios analizados. Se encontró que Punta Pelicanos, La Grupera y Salamandinga poseen los ensamblajes coralinos más similares entre sí (> 75% de similitud). Esta similitud se debe a que los tres sitios tienen en común características geomorfológicas y de estructura del hábitat. Todos ellos tienen arrecifes de franja someros (< 12 m) que crecen alrededor de los cayos, donde existen las mayores coberturas de hidrocorales, algas articuladas calcáreas y sustrato arenoso, así como coberturas moderadas de coral vivo y sustrato calcáreo. Las cuales se relacionan a una mayor contribución de



especies de *Porites astroides*, *Agaricia agaricites*, *Siderastrea* spp. y *Agaricia tenuifolia*. Los corales poriteos se caracterizan por ser especies oportunistas que habitan sitios poco profundos donde generan parches coralinos (Sorokin 1995). Los agaricideos viven en zonas con una complejidad topográfica alta, y algunos de ellos como *A. tenuifolia*, poseen una forma incrustante-foliosa que le permite reducir el estrés generado por el oleaje en arrecifes someros (Rodríguez-Zaragoza 2007). Por estas características, *P. astroides*, *A. agaricites*, *Siderastrea* spp. y *A. tenuifolia* se encuentran en ambientes más adversos, pero generan desarrollos de arrecife pobres en cobertura de coral, complejidad topográfica y riqueza orgánica. Tal como se ha observado en otras áreas, como en el Caribe Mexicano (Sorokin 1995, Rodríguez-Zaragoza 2007).

El género *Siderastrea* es considerado de importancia en las crestas de arrecife ya que presenta una resistencia adecuada al oleaje (Sorokin 1995), Es por eso que su valor de contribución es tan alto en los sitios poco profundos y que se encuentran cercanos al Cayo Mayor. Al igual que en el caso anterior el género *Diploria* cuenta con características similares. Estos factores son los que generan que estos géneros tengan un porcentaje importante de contribución dentro de los sitios.

En cambio los arrecifes coralinos de Mariposales y Roatan Bank poseen una geomorfología y estructura del hábitat diferente porque son arrecifes de plataforma profundos. Esta característica propicia que posean los ensamblajes coralinos más disímiles del área de estudio. En Mariposales, la composición es dominada por *Montastrea cavernosa*, *Agaricia agaricites*, *Diploria labyrinthiformis* y *Porites astroides*. En cambio en Roatan Bank, las especies

más importantes son *A. agaricites*, *M. cavernosa*, *P. astroides*, *M. faveolata*, *D. laberintiformes* y *M. franksi*. La mayoría de estos corales son especies con estrategia-k, con un desarrollo y madurez lenta, además se encuentran en lugares con condiciones menos adversas, por lo que alcanzan una población más estable y presentan colonias más grandes, por lo tanto, porcentajes de cobertura más altos (Sorokin 1995). Debido a estas características las especies con esta estrategia tienen una mayor contribución y representatividad para estos sitios de arrecifes.

La disimilitud de especies de los ensamblajes coralinos de Mariposales y Roatan Bank es generada por una contribución alta de especies del género *Montastrea* (> 30%). Las especies de *Montastrea* presentan formas masivas y habitan aguas más profundas y poco iluminadas (Sorokin 1995). Además tienen tasas de remoción de sedimentos eficientes (Huston 1985), y son especies considerablemente agresivas y competitivas por el sustrato (Lang y Chornesky 1990). Esto les permite colonizar fuertemente el sustrato en estos sitios de arrecife.

Otras diferencias observadas entre Mariposales y Roatan Bank son las siguientes: 1) en Mariposales existen coberturas bajas de coral vivo y sustrato rocoso-calcáreo, así como también una complejidad topográfica baja. Es posible que esto tenga un efecto directo en la estructura de su ensamblaje coralino, ya que el reclutamiento de corales depende de que exista una cobertura de coral viva adecuada y de la disponibilidad de sustrato duro potencialmente colonizable; 2) en Roatan Bank se tienen coberturas importantes de coral vivo y sustrato rocoso-calcáreo, que son esenciales para el desarrollo de corales hermatípicos. Además, Roatan Bank es un arrecife con

mayor profundidad y se localiza a una mayor distancia de los cayos, lo que disminuye el impacto humano. Quizás este aislamiento y poca accesibilidad ha generado que el arrecife coralino esté en una mejor condición, dando lugar a ensamblajes de corales más disímiles, con mayor diversidad y equidad de especies, y con la cobertura de coral vivo más alta del área de estudio. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Clifton y Clifton (1998), quienes encontraron que este sitio se caracteriza por tener una mejor condición en el arrecife y características distintas por su grado de aislamiento.

En general, los ensamblajes coralinos de Cayo Cochino están dominados por especies de las familias Poritidae, Faviidae y Agaricidae. Este resultado contrasta con lo reportado en la mayoría de los arrecifes del Mar Caribe, donde la familia Faviidae es la que tiene mayor contribución en el porcentaje de cobertura de coral vivo (Kramer 2003, Ruíz-Zarate *et al.* 2003, Rodríguez-Zaragoza 2007). Esto hace que Cayo Cochinos sea distinto a los demás arrecifes caribeños en la estructura del ensamblaje coralino, y quizás también, en sus características geomorfológicas del arrecife. Esto le confiere un mayor grado de importancia dentro de esta área. Además, por su ubicación geográfica, Cayos Cochinos es considerados como un punto importante para la conectividad y dispersión de las especies coralinas dentro del Sistema Arrecifal Mesoamericano (Soto *et al.* 2009).

### 7.3. Condición de los arrecifes

De acuerdo con lo encontrado en este estudio los sitios con mejor condición serán aquellos que cuenten con un alto porcentaje de cobertura de coral vivo y sustrato calcáreo, así como una baja cobertura de macroalgas. Con

base en esto Roatan Bank, Salamandinga y Punta Pelicanos presentan el estado más favorable en sus ecosistemas, ya que presentan los mayores porcentajes de cobertura de coral vivo y valores de los índices de diversidad. En contraste, la Grupera y Mariposales poseen una condición con mayor deterioro ambiental.

En Cayo Cochinos, la mayoría de los arrecifes presentan una condición no adecuada debido a las bajas coberturas de coral vivo y altas coberturas de macroalgas. Sin embargo, esta condición es similar a la mayoría de los arrecifes del Caribe (Kramer 2003). La cobertura total de coral vivo se ha utilizado como un indicador de la salud de los arrecifes, ya que las especies coralinas y una gran parte de las especies de arrecife asociadas dependen de esta variable para poder reclutarse en los arrecifes (Guichard y Bourget 1998, Ruíz-Zarate *et al.* 2003, Knowlton y Jackson 2001). Además, la cobertura de coral vivo se relaciona con la biodiversidad del ecosistema (Arias-González *et al.* 2008). Esto es el caso de Roatan Bank, que posee el mejor estado de condición de los cinco sitios analizados. La cobertura de coral vivo de Roatan Bank fue del 16.5%, que es un valor equiparable al 17% encontrado por Ruíz-Zarate *et al.* (2003) para el sur del Caribe Mexicano, pero es menor que el estimado para todo el Mar Caribe con un 26% (Kramer 2003). Los demás sitios tienen coberturas de coral vivo considerablemente bajas: 6.9% en Mariposales, 9.7% en Punta Pelicanos, 7.6% en La Grupera y 10.5% en Salamandinga.

La condición actual de los arrecifes de Cayo Cochinos es un reflejo de posibles impactos generados por las pesquerías de las poblaciones locales, por los turistas, la sedimentación y eutrofización que proviene de la parte continental. Se conoce que este archipiélago ha sido afectado por las

pesquerías desde los años ochenta (Clifton y Clifton 1998). El efecto de las pesquerías ha afectado la condición de los arrecifes del Caribe y ha favorecido los cambios de fase ocurridos en esta región (Jackson *et al.* 2001, Burke y Maidens 2004). En Cayo Cochinos las pesquerías son frecuentes por los pescadores artesanales locales, porque es una de las pocas actividades económicas y de subsistencia que tienen. Actualmente, se conoce que la sedimentación incrementa las biomásas de macroalgas carnosas por su efecto de eutrofización. En los arrecifes coralinos de las Islas de la Bahía en Honduras, la sedimentación es considerablemente alta y tiene un efecto negativo (Mehrtens *et al.* 2001). En Cayo Cochinos es posible que exista una sedimentación importante, porque se encuentran cerca de varias desembocaduras de ríos, además de otros aportes de nutrientes provenientes de las poblaciones humanas y de las actividades de agrícolas. Estos nutrientes deben de favorecer el crecimiento de macroalgas carnosas, y su vez, disminuyen la riqueza, diversidad y abundancia de los corales hermatípicos del área.

## 8. Conclusiones

- Los sitios de Roatan Bank, Salamandinga y Punta Pelicanos fueron los sitios con mayor diversidad y porcentaje de cobertura de corales hermatípicos.
- En contraste Mariposales y La Grupera presentaron índices de diversidad bajos y poca cobertura de coral.
- En este estudio el porcentaje de cobertura de las diferentes especies de corales hermatípicos, demostró una diferencia significativa entre los cinco sitios. Sin embargo, los resultados de los índices de diversidad demostraron diferencias poco significativas entre la diversidad de los sitios.
- La composición de especies entre los sitios obtuvo diferencias significativas. Por una parte Salamandinga La Grupera y Punta Pelicanos comparten varias de especies coralinas. En contraste la composición de especies de Roatan Bank y Mariposales fue diferente a entre sí, y entre los demás sitios analizados.
- Las diferencias entre los sitios en la composición y abundancia de las especies son explicadas posiblemente por las características del hábitat bentónico, la presencia y abundancia de diferentes sustratos (e.g. coral vivo, hidrocorales, algas articuladas calcáreas, sustrato arenoso y rocoso-calcáreo).
- Las coberturas de corales hermatípicos en los sitios dentro de Cayo Cochinos resultaron estar por debajo del promedio estimado para el Mar Caribe.

- Las coberturas de corales hermatípicos son afectadas quizás por las coberturas de macroalgas carnosas, sustrato arenoso y sustrato rocoso-calcáreo.

## 9. Literatura Citada

- Andraka S., Bouroncle C., y García-Sáez C. (2004). Plan de Manejo del monumento Natural Marino Archipiélago Cayos Cochinos, Honduras (2004-2009). WWF Centroamérica / Fundación Hondureña para la protección y conservación de los Cayos Cochinos.
- Acosta-González G. (2005). Caracterización del hábitat arrecifal: hacia el desarrollo de las SIGs en sistemas coralinos. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) Unidad Mérida, Departamento de Recursos del Mar. 100p.
- Arias-González J.E., Legendre P. y Rodríguez-Zaragoza F.A. (2008). Scaling up beta diversity on Caribbean coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368: 28-36.
- Aronson R.B., Edmunds P.J., Precht W.F., Swanson D.W. y Levitan D.R. (1994). Large-scale, long term monitoring of Caribbean coral reefs: simple, quick, inexpensive techniques. *Atoll Research Bulletin*, 421: 1-19.
- Bermingham E., Coates A., Cruz G., Emmons L., Foster R.B., Leschen R., Seutin G. Thorn S., Wcislo. W. y Werfel B. (1998). Geology and terrestrial flora and fauna of Cayos Cochinos, Honduras. *Revista Biología Tropical*, 46 Suppl 4: 15-37.
- Brenes C.L., Gallegos A. y Coen E. (1998). Variación Anual de la Temperatura Superficial en el Golfo de Honduras. *Revista Biología Tropical*, 46 Suppl. 4: 45-56p.
- Burke, L. y Maidens J. (2005). Reefs at risk in the Caribbean. World Resources Institute Washington D.C. 84p



- Castañeda M. (2002). Natural Disaster Risk Assessment Project: Nueva Armenia. 34p.
- Cesar H.J.S. (2002). The biodiversity benefits of coral reef ecosystems: Values and markets. Working Party on Global and Structural Policies Working Group on Economic Aspects of Biodiversity, OECD, Paris.
- Clarke K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117-143p.
- Clarke K.R. y Warwick R.M. (2001). *Change In Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*, 2<sup>nd</sup> Edition. PRIMER-E, Plymouth.
- Clifton E. y Clifton L. (1998). A survey of fishes various coral reef habitat within the Cayos Cochinos Marine Reserve, Honduras. *Revista de Biología Tropical*, 46 Suppl. 4: 109-124.
- Coates A.G. (2003). *Paseo Pantera: una historia de la naturaleza y cultura de Centroamérica*. Smithsonian Books. 302 p.
- Colwell R.K. (2009). EstimateS: Statistical estimation of species richness and share species from samples. Version 8.2. Available on line at: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>. University of Connecticut, Storrs.
- Dodge R.E., Logan A. y Antonius A. (1982). Quantitative reef assessment studies in Bermuda: A Comparison of Methods and Preliminary Results. *Bulletin of Marine Science*, 32(3): 745-760.
- Done T.J., Ogden J.C., Wiebe W.J. y Rosen B.R. (1996). Biodiversity and ecosystem function of coral reefs. In: Mooney, H.A., Cushman, J.H., Medina, E., Sala, O.E. and Schulze E.D. (eds). *Functional Roles of*

- Biodiversity: A Global Perspective. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, England.
- Guichard F. y Bourget E. (1998). Topographic heterogeneity, hydrodynamics and benthic community structure: a scale-dependent cascade. *Marine Ecology Progress Series*, 171: 59-70.
- Guzmán H.M. (1998). Diversity of stony, soft and black corals (Anthozoa: Scleractinia, Gorgonacea, Antipatharia; Hydrozoa: Milleporina) at Cayos Cochinos, Bay Islands, Honduras. *Revista Biología Tropical*, 46:75–80.
- Harbone A.R., Afzal D.C. y Andrews M.J. (2001), Honduras: Caribbean Coast. *Marine Pollution Bulletin* 42 (12): 1221-1235.
- HCRF/WWF (2004). Plan de Manejo del Monumento Natural Marino Archipiélago Cayos Cochinos, Honduras. 2004 – 2009. Comité para la Restauración, Protección y Manejo Sostenible del Monumento Natural Marino Cayos Cochinos. WWF Centroamérica. Serie Técnica. La Ceiba. Honduras. 189p.
- Hughes T.P. (1994). Catastrophes, Phase Shifts, and Large-Scale Degradation of a Caribbean Coral Reef, *Science* Vol. 265 :1547-1551.
- Huston M.A. (1985) Patterns of Diversity on Coral Reefs. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 149-77.
- Jackson J.B.C., Kirby M.X., Berger W.H., Bjordal K.A., Botsford L.W., Bourque B.J., Bradbury R.H., Cooke R., Erlandson J., Estes J.A., Hughes T.P., Kidwell S., Lange C.B., Lenihan H.S., Pandolfi J.M., Peterson C.H., Steneck R.S., Tegne M.J., y Warner R.R. (2001) Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629-638.

- Jacome G. (1998). Lista de decápoda (Anomura, Brachiura) para la Reserva Biológica Cayo Cochinos Honduras, Revista Biología Tropical, 46 Suppl. 4: 89-93.
- Jiménez, C. 1997. Evaluación ecológica rápida de 18 arrecifes de la Reserva Biológica de Cayos Cochinos, Honduras. Pp: 78-96 In Anónimo. Plan de acción Reserva Biológica Cayos Cochinos, Honduras. Informe final de consultoría. Anexo. Informe de consultores. ProAmbiente/AVINA. 169 p.
- Knowlton N. y Jackson J.B.C. (2001). The Ecology of Coral Reefs. In: Bertness M.D., Gaines S.D., y Mark E.H. (eds) Marine Community Ecology 395-421 pp.
- Kramer P.A. (2003). Synthesis of coral reef health indicators for the western Atlantic: results of AGRRA program (1997-2000). Atoll Research Bulletin, 406:1-57.
- Lang J. C. y Chornesky E.A.. (1990). Competition between scleractinian reef corals- A review of mechanisms and effects. In: Dubinsky Z. (ed). Coral Reefs. Ecosystems of the World 25. Elsevier, Amsterdam 209-252 pp.
- Lessios H. A. (1998) Shallow Water Equinoids of Cayo Cochinos Honduras, Revista Biología Tropical, 46 Suppl. 4: 95-101.
- McCook L.J., Jompa J. y Diaz-Pulido G. (2001). Competition between corals and algae on coral reefs: a review of evidence and mechanisms. Coral Reefs 19: 400-417.
- Medina-Hernández A.C. (2005). Variación espacial de la comunidad de peces arrecifales y su relación con el hábitat en el Archipiélago Cayo cochinos, Honduras. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto

- Politécnico Nacional (CINVESTAV) Unidad Mérida, Departamento de Recursos del Mar. 103p.
- Mehrtens C., Rosenheim B.E., Modley M. y Young R. (2001). Reef morphology and sediment attributes, Roatan, Bay Islands, Honduras. *Carbonates and Evaporates* 16(2): 131-140.
- Muller-Parker G. y D'Elia C.F. (1997). Interactions between corals and their symbiotic algae. In: Birkeland C. (ed.). *Life and Death of Coral Reefs*. Chapman y Hall, NY. 96-113p.
- Ogden J.C. y Ogden N.B. (1998). Reconnaissance survey of the coral reefs and associated ecosystems of Cayos Cochinos, Honduras. *Revista Biología Tropical*, 46 Suppl. 4: 67–74.
- Paris C.B. y Cherubin L.M. (2008). River-reef connectivity in the Meso-American Region. *Coral Reefs*, 27(4): 773-781.
- Rodríguez-Zaragoza, F.A. (2007). *Biodiversidad y Funcionamiento de los Ecosistemas Arrecifales Costeros del Caribe Mexicano*. Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. Departamento de Recursos del Mar 118p.
- Ruíz-Zárte M.A., Hernández-Landa R.C., González-Salas C., Núñez-Lara E., y Arias-González E. (2003). Condition of coral reef ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico (Part 1: stony corals and algae). *Atoll Research Bulletin* 496: 318-336.
- Sorokin Y.I. (1995). *Coral reef ecology*. Springer, Berlin. 465p.
- Soto I., Andrefouet S., Muller C.H., Karger F.E., Wall C.C., Sheng J. y Hatcher B.G (2009). Physical connectivity in the Mesoamerican barrier reef

system inferred from 9 years of ocean color observations. *Coral Reefs*, 28: 415-425.

Zar J.H. (1996). *Biostatistical analysis*. 3a Ed. Prentice Hall Upper Saddle River, N.J., E.U.A: 918p.