



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Comparación de la diversidad y complejidad estructural  
de dos arrecifes de coral: La Perla del Golfo, Veracruz y  
Puerto Morelos, Quintana Roo, México**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A:**

**GARCÍA BERNAL AARÓN**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. FERNANDO ALVAREZ NOGUERA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

García

Bernal

Aarón

Teléfono: 53 00 07 93

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

310142614

2. Datos asesor

Dr.

Fernando

Álvarez

Noguera

3. Datos Sinodal 1

Dr.

Eduardo

Morales

Guillaumin

4. Datos Sinodal 2

M. en C.

José Luis

Bortolini

Rosales

5. Datos Sinodal 3

M. en C.

Gema Yolanda

Armendariz

Ortega

6. Datos Sinodal 4

Dra.

Guillermina

Alcaraz

Zubeida

7. Datos del trabajo escrito

Comparación de la diversidad y complejidad estructural de dos arrecifes de coral: La Perla del Golfo, Veracruz y Puerto Morelos, Quintana Roo, México.

84 pp

2018

## **Agradecimientos**

A los proyectos de investigación CONABIO: LH010 Invertebrados del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y DGAPA-UNAM: IN205314, ¿Puede la criptofauna de crustáceos indicar el estado de conservación de un arrecife? otorgados al Dr. Fernando Álvarez.

A la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR) y a Fernando Álvarez por su apoyo y contribución durante la elaboración de esta tesis.

A la M. en C. Gema Yolanda Armendariz Ortega por todas sus enseñanzas, críticas y consejos en la elaboración de esta tesis y a través de los cuatro niveles del Taller de invertebrados de la zona costera y arrecifal del Golfo de México.

A los sinodales en esta tesis, Dra. Guillermina Alcaraz, Dr. Eduardo Morales y al M. en C. Jose Luis Bortolini cuyos comentarios ayudaron a mejorarla.

A mis profesores de taller el Dr, Jose Luis Villalobos por mostrarme en mundo de los cangrejos y por siempre estar disponible cuando necesite de su ayuda y a Eduardo Torres por sus clases que siempre fueron muy amenas y de gran aporte.

A la Estación de Biología Tropical “Los Tuxtla” por prestar sus instalaciones durante los muestreos.

A Cecy y Alejandro, que siempre mostraron una gran disposición para compartir los resultados de sus estudios y gracias a los cuales, este trabajo llevo a buen termino.

A mis compañeros de taller de invertebrados del Golfo de México Jorge, Oscar, Angelica, Alejandro, Magda, Alma, Brenda, Uziel, Adriana con quienes compartí muchos buenos momentos durante clases y en las salidas a campo y a los compañeros de laboratorio Olinka, Salvador, Betel, Erik, Atzimba, Viri y a todas las personas que he conocido ahí y que de una u otra manera me han apoyado.

A los lacheros Tulio y “El wero”, que siempre nos trasladaron a los sitios de estudio con gran precaución y efectividad y a su familia que nos preparaban comida deliciosa para finalizar los días de trabajo.

A mi familia, a mis papas, mi hermana Xiadani, mis primos Luis, Cesar, Viri y Valieria, a mis tías y tíos Horte, Alfredo, Marta, Lupe y Alfredo que siempre han mostrado su apoyo incondicional durante todo mi desarrollo académico.

A mis amigos, Araceli, Ricardo, Lupe, Romina, Nataly, Julio, Ingrid, Israel, Lucio, Ernesto, Luz, Cele, Anais, Hilda, Issac, Jozimar, Monse, Oziel, Erick, Fabiola, Jose, Javier, Cristina, Marisol, a mis compañeros buzos y a todas las personas que he conocido en el camino.

# Índice

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	3
Arrecifes de coral .....	3
Complejidad estructural .....	6
Importancia de los arrecifes.....	6
<b>Justificación</b> .....	8
<b>Antecedentes</b> .....	8
Objetivo General .....	13
Objetivos Particulares .....	13
<b>Área de estudio</b> .....	13
Arrecife La Perla del Golfo, Veracruz.....	13
Arrecife Puerto Morelos, Quintana Roo .....	14
<b>Materiales y Métodos</b> .....	16
<b>Resultados</b> .....	20
Diversidad de invertebrados .....	20
La Perla del Golfo .....	20
Puerto Morelos .....	24
Complejidad estructural .....	27
Arrecife La Perla del Golfo .....	28
Puerto Morelos .....	32
Comparación entre arrecifes .....	34
Análisis de similitud de Sørensen.....	35
<b>Discusión</b> .....	37
<b>Diversidad de invertebrados</b> .....	37
La Perla del Golfo .....	37
Puerto Morelos .....	42
<b>Complejidad estructural</b> .....	45
La Perla del Golfo .....	45
Puerto Morelos .....	49
Comparación de la diversidad de invertebrados de La Perla del Golfo y Puerto Morelos .....	50

Comparación de la complejidad estructural de La Perla del Golfo y Puerto Morelos.....	53
Comparación de la complejidad estructural y diversidad en La Perla del Golfo.....	54
Comparación de la complejidad estructural y diversidad de Puerto Morelos .....	55
<b>Conclusiones</b> .....	56
<b>Literatura citada</b> .....	57
<b>ANEXOS</b> .....	67

## Resumen

En este trabajo se estimó y comparó la diversidad y complejidad estructural de dos arrecifes de coral, La Perla del Golfo, ubicado en el estado de Veracruz y Puerto Morelos, en el estado de Quintana Roo. Se utilizó el índice de Shannon-Weiner para estimar la diversidad, los datos se obtuvieron de estudios faunísticos previos en ambos sitios. Además, se obtuvo el índice de equidad de Pielou y el índice de dominancia de Simpson para cada grupo de invertebrados analizados (moluscos, decápodos y equinodermos). En La Perla del Golfo se obtuvo una alta diversidad en el grupo de los moluscos y decápodos y una diversidad media en los equinodermos. En Puerto Morelos, la diversidad alta se observó en moluscos y equinodermos y en los decápodos se obtuvo una diversidad media. La complejidad estructural se estimó mediante el índice de rugosidad (IR), el cual es un cociente de la distancia de una cadena con la que se delinea el bentos del arrecife sobre la distancia en línea recta del punto inicial al final sobre el cual se delinea el bentos (1 m). Los muestreos para determinar la complejidad estructural de La Perla del Golfo se llevaron a cabo en abril, junio y agosto del 2016. En el caso del arrecife de Puerto Morelos, la complejidad estructural se obtuvo de fuentes bibliográficas. El IR en La Perla del Golfo fue de  $IR= 1.64$ , lo que indica una complejidad estructural media, mientras que en Puerto Morelos fue de  $IR= 1.39$ , indicando una complejidad estructural baja. Las especies compartidas entre los dos arrecifes son pocas, únicamente el 10% de la riqueza total observada en ambos sitios. De acuerdo al índice de Sørensen y al cluster realizado, el grupo de los moluscos es el que se tuvo mayor relación composicional entre ambos arrecifes. De acuerdo a diversos autores, la complejidad estructural está fuertemente relacionada con la diversidad que un ecosistema puede albergar. Por lo tanto, se esperaba que en La Perla del Golfo se observara una diversidad media y en Puerto Morelos, una diversidad baja. Sin embargo, no fue así, por lo que deben existir otros factores que influyen en la diversidad.

**Palabras clave:** Complejidad estructural, índice de rugosidad, arrecife de coral, invertebrados.



## Abstrac

In this work, the diversity and structural complexity of two coral reefs, La Perla del Golfo, Veracruz and Puerto Morelos, Quintana Roo was estimated and compared. The diversity Shannon – Weiner index was used for stimated diversity, the data were obtained from previus faunistic researches in both sites. Also, the Pielou equity index and the Simpson dominance index was calculated for each invertebrate group (molluscs, decapods and echinoderms). In La Perla del Golfo, was obtained a high diversity on molluscs and decapods and a medium diversity on echinoderms. In Puerto Morelos, was obtained high diversity on molluscs and echinoderms, on decapods the diversity was medium. The structural complexity was quantified by the rugosity index (IR) (Risk, 1972) wich was obtained delineating a fine chain to the reef, following the detailed contour of corals. To calculate the index, the countoured distance was divided by the linear distance between it's start and end points (1 m). The samples to determinated the structural complexity in La Perla del Golfo were took place on April, June and August from 2016. In the Puerto Morelos case, the structural complexity was obtained from literature. The IR on La Perla del Golfo was  $IR= 1.64$ , wich indicates medium structural complexity whereas on Puerto Morelos was  $IR= 1.39$ , wich indicates low structural complexity. Few species are shared between the two reefs, only 10% of the total richness. According with the Sørensen index and the cluster analysis, the molluscs group has the highest compositional relationship between the reefs. According to various authors, the structural complexity is strongly releated with the diversity that an ecosistem can harbor. Therefore, it would be expected that La Perla del Golfo it will be observed medium diversity and in Puerto Morelos, low diversity, but it was not like that, so, must be exist anothers factors that influence on the diversity values.

**Keywords:** structural complexity, rugosity index, coral reef, invertebrates.

## Introducción

Un arrecife se define como una unidad rocosa en aguas poco profundas y cercana a la costa, cuya composición es distinta a la del suelo marino circundante. Existen distintos tipos de arrecifes, los coralinos, rocosos, mixtos y artificiales. Estos suelen estar asociados a otros ecosistemas, como manglares y pastos marinos. Debido a su morfología, los arrecifes, cambian el flujo de las corrientes y son sitios de reproducción de animales que en su etapa adulta migran a otros ecosistemas (CONABIO, 2012).

### Arrecifes de coral

La distribución de los arrecifes de coral está restringida a los trópicos, su extensión no es conocida con exactitud ya que existen distintas estimaciones hechas con diferentes métodos. Sin embargo, Spalding *et al.* (2001), la estiman en 284,300 km<sup>2</sup>, ubicando el 91% en la región del Indo-Pacífico. El desarrollo de los arrecifes coralinos está limitado a zonas de aguas claras y someras, debido a que requieren parámetros abióticos estrictos para su crecimiento y supervivencia. La salinidad es uno de los parámetros más restrictivos, ya que las áreas con salinidades estables de entre 34-36 ppm es donde se desarrollan la mayoría de éstos. Sin embargo, existen zonas con salinidades mínimas de 23.3 ppm y máximas de 40 ppm donde también se pueden desarrollar arrecifes coralinos. Cambios mayores a  $\pm 2$  ppm en la salinidad afecta su crecimiento en condiciones estables, reproducción y respiración de los zoides que constituyen el coral; mientras que cambios bruscos pueden ocasionar la muerte de los mismos (Sheppard *et al.*, 2012; Kuanui *et al.*, 2015).

La temperatura es otro factor importante, ésta debe encontrarse entre 18 y 21 °C para un desarrollo adecuado, aunque es posible también, encontrar corales en lugares con temperaturas de 16 °C y hasta 36 °C. Temperaturas estables promueven el incremento de las tasas de calcificación. El aumento de temperatura en el agua ocasiona el blanqueamiento del coral y reduce la eficiencia fotosintética de sus simbioses. La temperatura está ligada a otro factor abiótico, la luz, éstos dos factores delimitan la distribución geográfica y la profundidad máxima a la cual se pueden encontrar. En zonas con agua clara, el arrecife puede desarrollarse a hasta 75 m de profundidad. La penetración de la luz a través del espejo de agua, dependerá

de la cantidad de sedimento y nutrientes, así como la profundidad a la que se encuentre el arrecife, la longitud del espectro que penetra el espejo debe estar entre 400 y 700 nm para que la fotosíntesis se desarrolle. Gatuso *et al.* (2006), señalan que un arrecife requiere una irradiación mínima de 400-600  $\mu$  mol fotones  $m^{-2} s^{-1}$ . Dentro de los trópicos la irradiación alcanza de 1,500 – 2,000  $\mu$  mol fotones  $m^{-2} s^{-1}$ . (Sheppard *et al.*, 2012; Kuanui *et al.*, 2015).

Los nutrientes en el medio también son necesarios, siendo el nitrógeno y fósforo los más importantes para la fotosíntesis de los simbioses; éstos pueden encontrarse en distinta forma, ya sea en compuestos orgánicos como amonio ( $NH_4$ ) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), inorgánicos como amoníaco ( $NO_3$ ) y fosfato ( $PO_4$ ) y partículas orgánicas (detritus y plancton). El desarrollo de los arrecifes de coral ocurre mayormente en áreas oligotróficas, es decir en aguas con pocos nutrientes. Sin embargo, los arrecifes coralinos son áreas de alta diversidad y producción de biomasa. Para soportar esta elevada producción deben ocurrir algunos fenómenos, como: el reciclaje y conservación de nutrientes por los organismos simbioses y organismos que realizan fotosíntesis, la fijación de nitrógeno atmosférico por cianobacterias y otros organismos bentónicos y pelágicos de vida libre, el afloramiento oceánico que lleva nutrientes del fondo a la superficie, las corrientes que los distribuyen, el escurrimiento pluvial y el aporte de ríos que llevan nutrientes continentales. A pesar de que la mayoría de los corales se encuentran en zonas oligotróficas, éstos tienen una alta tolerancia a ambientes con alta concentración de nutrientes, lo que podría indicar que su distribución es independiente a este parámetro (Sheppard *et al.*, 2012).

Los arrecifes coralinos son formados por organismos de la clase Anthozoa (phylum Cnidaria), en esta clase se incluyen a las anémonas, corales, corales blandos, corales tubulares, gorgonáceos y plumas de mar. Esta clase es exclusivamente marina, son sésiles en el estadio adulto y dependiendo de la especie viven solitarios o forman colonias, no poseen estado medusoide en su ciclo de vida. La clase se divide en dos subclases: Octocorallia y Hexacorallia (Brusca *et al.*, 2016).

La subclase Octocorallia, se caracterizan por organismos con pólipos divididos en ocho mesenterios, por lo tanto, el número de tentáculos es múltiplo de ocho. La subclase se divide en tres órdenes: Alcyonacea, Helioporacea y Pennatulacea (Brusca *et al.*, 2016).

La subclase Hexacorallia o Zoantharia incluye a las anemonas y corales duros, se caracteriza porque sus pólipos están divididos en mesenterios pareados en seis o sus múltiplos, por lo tanto, también el número de tentáculos que presentan corresponden a estos valores. Los pólipos viven solitarios o formando colonias, pueden estar desnudos o con esqueleto calcáreo o cutícula de quitina. La subclase se divide en seis órdenes: Actinaria, Antipatharia, Ceriantharia, Corallimorpharia, Scleractinia y Zoanthidea, (Brusca *et al.*, 2016).

Los corales escleractíneos tienen una relación mutualista con los dinoflagelados fotosintéticos del género *Symbiodinium*. Estos organismos son mutualistas facultativos ya que viven tanto dentro del coral como en la columna de agua. Los dinoflagelados se unen al cnidario por medio de dos procesos: transferencia horizontal y vertical. En la transferencia horizontal, el coral recluta directamente al dinoflagelado del medio mediante un reconocimiento lectina-glicano. La transferencia vertical ocurre cuando el dinoflagelado se encuentra en el huevo durante la eclosión al medio, cuando se encuentra en el estadio de larva plánula inicia el reclutamiento (Fransolet *et al.*, 2012). Los dinoflagelados se ubican en los simbiosomas de los pólipos, que son vacuolas especializadas en contener a los dinoflagelados y que se encuentran comunicadas con células gastrodérmicas del cnidario (Wakefield y Kempf, 2001). Los dinoflagelados proveen al coral del 95% de la producción fotosintética, que incluye glicerol, glucosa, lípidos y aminoácidos. También se transfiere parte del carbono fijado. Ésto junto a las altas concentraciones de oxígeno, contribuyen al proceso de calcificación. Los pólipos proveen al dinoflagelado protección y nutrientes orgánicos como CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y PO<sub>4</sub>. La asociación coralina es muy sensible a cambios en los parámetros ambientales como la temperatura, salinidad y pH y cuando se presentan cambios los dinoflagelados salen del coral, afectándolo severamente (Fransolet *et al.*, 2012). Los corales de morfología masiva han demostrado ser los que poseen mayor tolerancia al estrés térmico, además de ser los que presentan mayor resistencia a los disturbios ambientales. En los corales en los que el tejido del pólipo es profundo y penetra en el esqueleto calcáreo son más tolerantes a eventos estresantes como disminución de salinidad o daño en el tejido, además, los simbiontes pueden moverse con mayor facilidad en el tejido maximizando la fotosíntesis y así promueven una rápida calcificación (Yost *et al.*, 2013).

## Complejidad estructural

La complejidad estructural, se refiere a la arquitectura tridimensional de un ecosistema. En un arrecife esta arquitectura o complejidad estructural está dada por los organismos que lo forman, es generada por corales, pastos y algas, así como por la geomorfología y restos de organismos del lugar. La complejidad estructural crea microhábitats, y mientras mayor sea la complejidad, la diversidad y abundancia del ecosistema aumentará (Graham y Nash, 2013).

La complejidad estructural se mide con el índice de rugosidad (IR) que es cuantificado con una cadena o lazo delgado que se va ajustando al contorno del bentos del arrecife. La distancia obtenida del contorno es dividida entre el largo lineal del transecto medido. Esta medida es tomada en varios puntos y al final todos los índices son promediados. Es importante señalar que no todas las especies formadoras de arrecife aportan de igual manera a la complejidad estructural, por ejemplo, los corales masivos (Figura 1a), a pesar de llegar a alcanzar grandes dimensiones, tienen un índice de rugosidad bajo, esto quiere decir que la cantidad de microhábitats que forman son muy pocos pudiendo albergar a pocas especies. En cambio, una colonia coralina con gran conformación tridimensional (Figura 1b) aportará gran disponibilidad de refugio para distintos organismos arrecifales (Alvarez-Filip *et al.*, 2011).

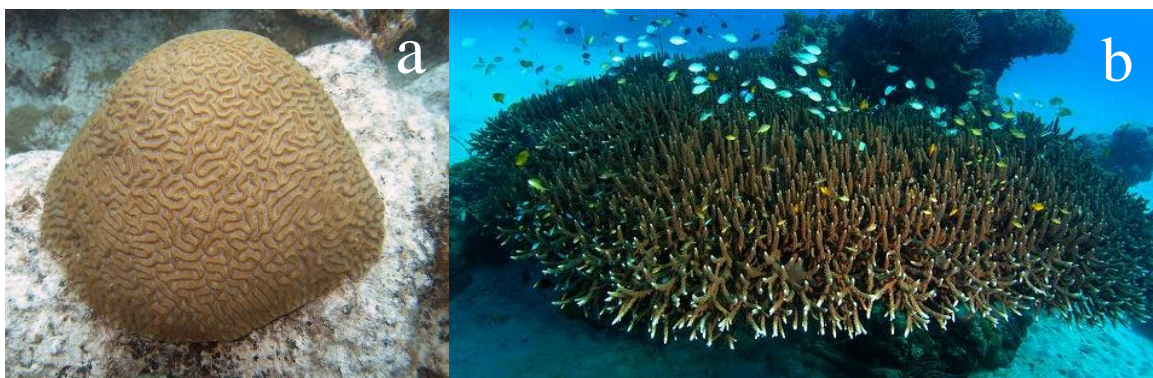
## Importancia de los arrecifes

Los arrecifes de coral están entre los ecosistemas marinos más diversos del planeta, en ellos algas, invertebrados y peces encuentran refugio. Existen aproximadamente 2,500 especies de corales en el mundo (Braverman, 2016), las cuales son amenazadas por las actividades humanas de las últimas décadas, como la sobrepesca y el crecimiento demográfico en ciudades costeras que provoca que una gran cantidad de desechos se viertan en las inmediaciones de los arrecifes, lo que ha provocado blanqueamiento y cambios en la estructura de los arrecifes (Yost *et al.*, 2013).

Los arrecifes de coral proveen diversos servicios ecosistémicos a las comunidades cercanas a ellos: los principales son el aprovisionamiento, ya que son zonas de alta

producción donde las pesquerías locales tienen alta productividad. El turismo, debido a su belleza y diversidad. En los arrecifes son comunes las actividades de buceo y snorkel, además de que las comunidades cercanas se ven beneficiadas con otras actividades relacionadas, como la venta de artesanías, alimentos y servicios de hospedaje y traslado. El enriquecimiento cultural es también importante en los pobladores de localidades cercanas a los arrecifes, en gran parte por los paisajes. Los arrecifes forman una barrera que disminuye el impacto del oleaje y en caso de un evento climático extremo, se ha comprobado que disipan fuerza del oleaje, debido a su arquitectura, protegiendo así a las comunidades y las actividades económicas que ahí se llevan a cabo. Los arrecifes también contribuyen regulando la erosión y sedimentación, manteniendo las playas y líneas de costa (Alvarez-Filip *et al.*, 2011; Graham y Nash, 2013, Pascal *et al.*, 2016).

El valor económico de los arrecifes se ha calculado en 172 billones de dólares por año (Platt, 2009); a pesar de lo cual, las prácticas que los deterioran siguen siendo poco reguladas y la contaminación y aporte de nutrientes de las ciudades sigue aumentando y afectando estos ecosistemas. Se debe informar acerca de la importancia de los servicios ambientales que aportan los arrecifes a las comunidades en general y a actores políticos para que conozcan su valor (Pascal *et al.*, 2016). Reportes de pérdida de corales vivos vienen acompañados con la disminución en la complejidad estructural del arrecife, provocando la desaparición de microhábitats donde otras especies habitantes del arrecife se refugian.



**Figura 1.** Tipos de complejidad estructural: a) coral del género *Diploria* por su arquitectura tridimensional tiene un IR y complejidad estructural bajo; b) coral del género *Acropora*, tiene una arquitectura tridimensional muy compleja, por lo que su IR y complejidad estructural es alto.

## **Justificación**

La actividad humana, como la descarga de contaminantes al mar, el turismo y la sobreexplotación de los recursos ha provocado un deterioro significativo de estos ecosistemas. La complejidad estructural está íntimamente relacionada con la diversidad del arrecife y con el estado de salud del mismo, por lo que determinar éste parámetro y asociarlo con la diversidad que sostiene, nos dota de una herramienta importante para crear planes de manejo, conservación y extracción que lleven al mínimo su deterioro, permitiéndole al ser humano seguir aprovechando sus recursos. En este trabajo, se pretende analizar la complejidad estructural y la diversidad de dos arrecifes de coral, uno ubicado en el Golfo de México y el otro, en el Mar Caribe, a partir de datos bibliográficos donde se reporten índices de rugosidad del arrecife e índices de diversidad de los principales grupos de invertebrados (moluscos, crustáceos y equinodermos), con el fin de determinar si la complejidad estructural compromete la diversidad de invertebrados que habitan el arrecife.

## **Antecedentes**

Risk (1972), comparó la relación existente entre la diversidad de peces territoriales y la complejidad topográfica del sustrato en un arrecife de coral en las Islas Vírgenes. Para obtener la diversidad utilizó el índice de Shannon-Wiener. Desarrolló un método para medir cuantitativamente, mediante el índice de rugosidad, la complejidad topográfica del sustrato arrecifal, el método de la cadena, el cual es una modificación de la metodología de conteo de puntos utilizada en geología. En el estudio se tomó un total de 16 transectos para cuantificar la diversidad de peces, en donde se identificó un total de 800 peces, los cuales formaban agregaciones de entre cuatro y siete especies compuestos por siete a 21 individuos. La correlación entre el índice de diversidad y la complejidad topográfica del sustrato resultó ser alta ( $r= 0.62$ ,  $p<0.05$ ).

Luckhurst y Luckhurst (1978), analizaron la influencia del sustrato en comunidades de peces coralinos en las Antillas Holandesas. Para analizar el sustrato se utilizó el índice de rugosidad, el relieve vertical del arrecife y la riqueza de especies de coral. La determinación de la abundancia de peces se realizó mediante buceos. Las medidas y conteo de organismos

se realizaron a cuatro diferentes profundidades: 10, 20, 30 y 40 m. Se concluyó que la riqueza de especies de peces está directamente relacionada con la rugosidad del sitio. Las poblaciones de peces se encuentran estratificadas en el arrecife de acuerdo al tamaño de las oquedades del arrecife y el tamaño del cuerpo, ya que estas oquedades proveen de refugio a los animales en sus distintas fases de desarrollo.

Bell y Gazlin (1984), realizaron un estudio para determinar la importancia de la cobertura de coral vivo en las comunidades de peces coralinos en la laguna del atolón de Mataiva, en el archipiélago de Tuamotu. Se observaron 115 especies de peces en los 13 sitios estudiados, 78 de esas especies (68%) fueron encontradas en sitios con corales vivos, 33 especies (29%) se encontraron en sitios con o sin corales vivos y únicamente cuatro especies (3%) fueron observadas en sitios sin corales vivos. Se determinó que la riqueza de especies aumentaba con el incremento de cobertura coralina y que la sedimentación y presencia de enfermedades en los corales provoca la disminución en la abundancia de peces.

Friedlander y Parrish (1998), examinaron las características del hábitat coralino en arrecifes de la isla de Hawaii como potencial influencia en la estructura de la comunidad de peces usando censos visuales para estimar su biomasa. Los peces arrecifales mostraron ensamblajes distintos, dependientes de la dureza del sustrato arrecifal. Se distinguieron seis tipos de hábitat, ésta diferencia se basó en la profundidad y complejidad del sustrato. La biomasa y número de individuos fueron altos en transectos donde el arrecife mostró una complejidad alta. Los hábitats con poco relieve y límites protegidos estuvieron asociados a bajos niveles de riqueza. El tamaño de las oquedades en el arrecife es un fuerte predictor de biomasa y número de individuos.

Vytopil y Willis (2001), examinaron las comunidades epifaunales en cuatro especies de *Acropora*, tomando en cuenta el gradiente físico de los corales para identificar atributos de los micro hábitats que se forman con arquitecturas complejas y que influyen en la estructura de la epifauna. Las comunidades epifaunales fueron distintas para las cuatro especies, la epifauna fue más abundante en los corales con mayor ramificación (*A. millepora* y *A. hyacinthus*) ya que proveen una mayor superficie de habitación.

Wilson *et al.* (2007), realizaron un estudio en un arrecife ubicado en las islas Mahe, en el que utilizaron métodos visuales para evaluar la complejidad estructural y la diversidad



de peces. Compararon los resultados con los obtenidos usando otras metodologías. Se encontró que en los corales con un diámetro de entre 10 – 70 cm, las evaluaciones visuales y las evaluaciones realizadas con métodos diseñados arrojan resultados similares. Sin embargo, el método visual no mostró ser efectivo cuando se evaluaron las cabezas coralinas a una escala mas fina. Las estimaciones visuales del bentos arrecifal mostraron resultados comparables a los obtenidos usando líneas de transectos. Las estimaciones visuales topográficas están relacionadas fuertemente con la riqueza de especies de peces en la comunidad, así como con su abundancia y tamaño.

Graham *et al.* (2009), midieron los efectos del blanqueamiento de coral y la pérdida de la complejidad estructural en peces coralívoros obligados y facultativos en arrecifes centrales y occidentales del océano Indico. A partir del blanqueamiento masivo en 1998, hubo un marcado declive en las poblaciones de estos peces, no así con las poblaciones de coralívoros facultativos. Sin embargo, el declive los segundos ocurrió años después a la par de la erosión de los esqueletos coralinos, debido a la pérdida de sitios de refugio y reclutamiento para peces juveniles.

Álvarez-Filip *et al.* (2011), realizaron un estudio para determinar si sitios con composición de la comunidad coralina semejante eran similares en su complejidad estructural, probaron si una gran diversidad de especies coralinas está relacionada con alta complejidad y cuáles son los taxones dominantes y sus atributos a la complejidad arquitectónica y cobertura coralina en los arrecifes de la isla Cozumel. El incremento en la complejidad arrecifal está relacionado con la cobertura coralina pero la velocidad del aumento en la complejidad depende de la composición de la comunidad coralina. Los sitios más complejos arquitectónicamente son dominados por algunas especies. La complejidad aumenta considerablemente en sitios donde dominan corales del género *Montastraea*. Concluyeron que arrecifes más complejos tienen mayor abundancia, biomasa y riqueza de especies de invertebrados y peces.

García (2013), propuso un método para medir la complejidad estructural de arrecifes coralinos utilizando video-transectos de alta resolución. Los videos son examinados eligiéndose puntos al azar, de los cuales se determinan las especies coralinas presentes. Cada especie tiene un valor previamente determinado de complejidad (0 – 1) donde las especies

con valor 0.1 tienen poco aporte a la complejidad y 1 son corales constructores. El índice se calcula dividiendo el número de colonias por especie entre el área estudiada y el resultado se multiplica por el valor de complejidad de la especie (ponderación).

$$\left( \frac{\text{núm de colonias por especie}}{\text{área en m}^2} \right) \times \text{ponderación}$$

Graham y Nash (2013), realizaron una revisión de publicaciones acerca de la complejidad estructural, tomando las palabras clave para la búsqueda: arrecife de coral, rugosidad, complejidad, topografía, protección del litoral y estructura. Las relaciones complejidad estructural – componentes de las comunidades del arrecife coralino y complejidad estructural respecto a actividades humanas fueron extraídas para el estudio y se clasificaron en positivas, negativas y neutras. Se observó un incremento en el número de publicaciones del tema en los últimos 50 años. Sin embargo, la mayor parte hace énfasis en la relación complejidad y comunidades de peces. La mayor parte de las publicaciones mostraron una relación positiva (79%), entre el incremento de la complejidad estructural y aumento de la biota y servicios ecosistémicos. Seis publicaciones mostraron relación negativa o neutra-negativa cuando aumentó la complejidad respecto a equinodermos. Existe relación negativa entre la complejidad y el aumento en cobertura algal. Cualitativamente se concluyó que el aumento en la complejidad estructural tiene una relación positiva con el turismo y la protección de la línea de costa.

Vassallo (2014), realizó un inventario taxonómico de organismos del phylum Cnidaria para la localidad de La Mancha, Veracruz, además, obtuvo un cnidoma de cada especie de anemonas y caracterizó los distintos tipos de nematocistos encontrados. En el estudio fueron analizadas 53 organismos de los cuales, 28 son anemonas, 10 zoantideos, 14 medusas y un coral., los cuales fueron agrupados en 13 especies, pertenecientes a dos clases, nueve de la clase Anthozoa y cuatro de la clase Scyphozoa. Un total de siete especies encontradas, representan nuevos registros para la localidad, una especie representa nuevo registro para Veracruz y uno más se propone como nuevo registro para México. En cuanto a

los cnidomas, se reconocieron cinco tipos distintos de nematocisto: espirocistos, basitricos, holotricos, microbásicos *p*-mastigóforos y macrobásico *p*-mastigóforos.

Amozurrutia (2016), realizó un estudio de la diversidad del phylum Cnidaria (Anthozoa) en la zona rocosa de Montepío, Veracruz. Realizó un perfil batimétrico y describió la estructura de la comunidad. En el estudio fueron identificados 15 morfotipos distintos, de los cuales 12 fueron identificados a nivel de especie pertenecientes a tres ordenes: Scleractinia, Actinaria y Zoanthidea. La zona rocosa de Montepío está compuesta en 37% de algas coralinas, 24.5% roca, 12% arena, 10% macroalgas, 4% *Padina*, 4% otros organismos (balanos y erizos), 3% esponjas y 3% cnidarios.

González (2016), realizó un estudio acerca de la diversidad y abundancia de crustáceos decápodos en dos arrecifes con distinto nivel de degradación en Puerto Morelos, Quintana Roo. Determinó la diversidad y abundancia de decápodos en la zona mediante censos visuales tanto de día como de noche. Para analizar la complejidad estructural de los sitios, se empleó el índice de rugosidad, el método de evaluación del hábitat por escala de puntuación (HAS) y el protocolo AGRRA. Se observó una riqueza de 63 especies de decápodos, ocupando principalmente como sustrato a los corales *Acropora palmata*, *A. agaricites*, *Millepora complanata*, coral muerto, cascajo y algas. No se observaron diferencias significativas en la complejidad estructural entre ambos sitios. Sin embargo, se observaron diferencias en la cobertura coralina. Se concluye que la diversidad y abundancia de crustáceos decápodos está determinada por la diversidad de sustratos y la complejidad estructural del arrecife.

Luviano (2016), caracterizó la complejidad estructural de dos parches arrecifales del arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo, México y determinó la variación de densidad, la condición nutricional, la dieta y las señales isotópicas de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  de *Panulirus guttatus* en los dos sitios. Se observaron diferencias significativas entre la complejidad estructural de los dos parches arrecifales, no así en la densidad de langostas, en los índices de refracción de la hemolinfa, en el índice hepatosomático ni en  $^{15}\text{N}$ . Sin embargo, se observaron diferencias en los isótopos  $^{13}\text{C}$ . Esto indica que las langostas ocupan el mismo nivel trófico en ambos sitios pero la base de carbono de las cadenas es distinta, existiendo diferencias en sus componentes.

## **Objetivos**

### Objetivo General

Determinar la diversidad y complejidad estructural de dos arrecifes, La Perla del Golfo, Veracruz y Puerto Morelos, Quintana Roo.

### Objetivos Particulares

Para ambos arrecifes:

- Analizar la composición de especies de cnidarios, moluscos, crustáceos y equinodermos (abundancia, riqueza, diversidad, dominancia y equidad de cada grupo).
- Calcular el índice de rugosidad y obtener la complejidad estructural.
- Comparar la diversidad de los grupos de invertebrados (moluscos, crustáceos y equinodermos) con los valores de complejidad estructural.
- Comparar los valores de complejidad estructural entre ambos arrecifes.

## **Área de estudio**

### Arrecife La Perla del Golfo, Veracruz

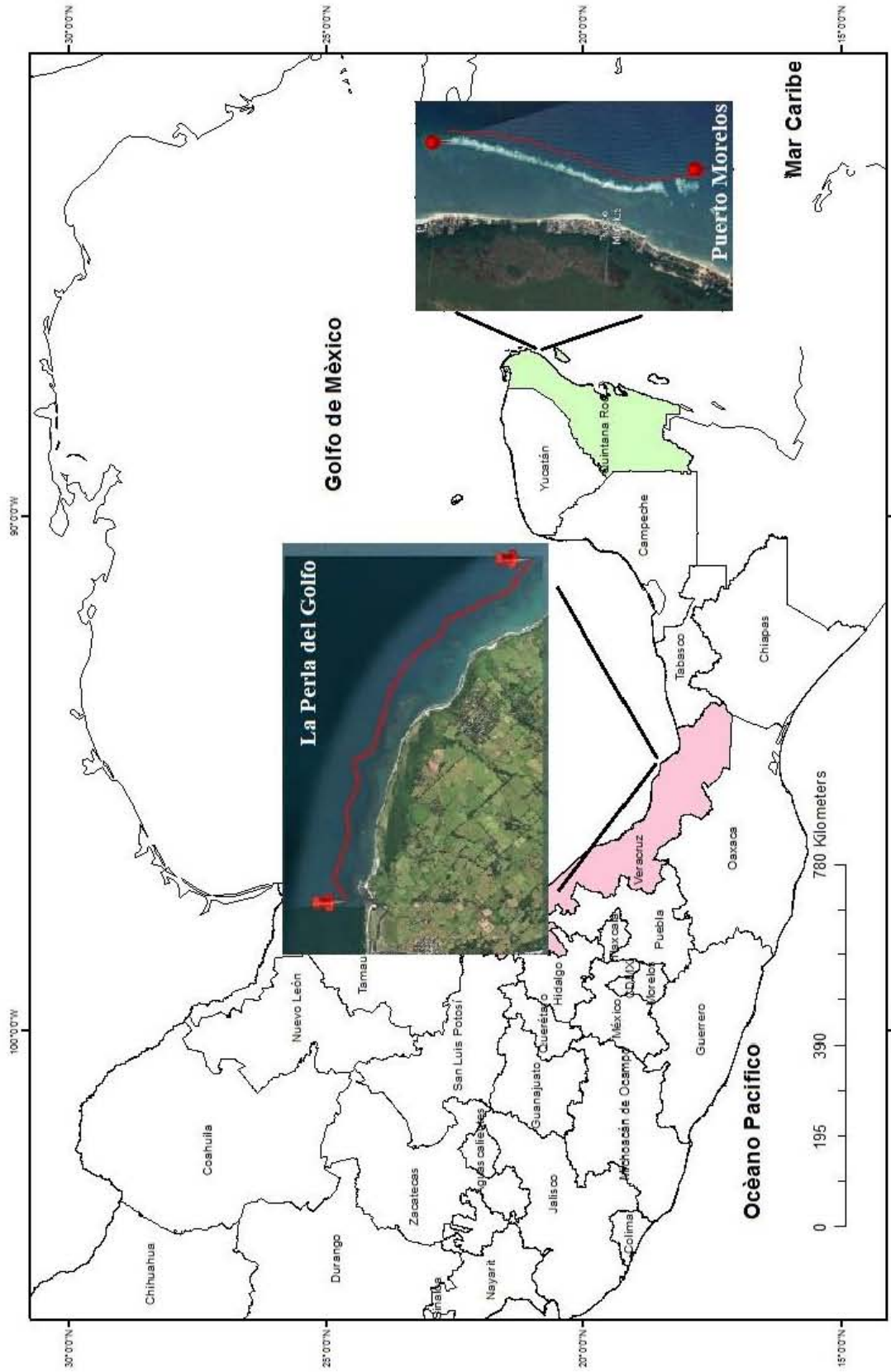
El arrecife La Perla del Golfo está ubicado en la región de Los Tuxtlas, al sureste del estado de Veracruz, en la zona transicional norte de los trópicos y subtrópicos, 16 km al suroeste de la barra de Sontecomapan en el municipio de Mecayapan, en las coordenadas 18° 33' 08" N y 94° 51' 32" W con una extensión aproximada de 8 km (Figura 2). La zona de Los Tuxtlas tiene un sustrato de origen volcánico proveniente de los volcanes San Martín Tuxtla y Santa María. En el área existe una precipitación pluvial de entre 3,000 y 4,900 mm

anuales con una temperatura media de 22 °C. Tiene un clima cálido húmedo Am, con lluvias en verano. Se distinguen tres épocas estacionales, lluvias (de junio a octubre), nortes (de octubre a febrero) y secas (de febrero a junio) (Krömer, 2013; Hernández, 2015).

#### Arrecife Puerto Morelos, Quintana Roo

El Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos (PNAPM) se ubica en las costas del municipio de Puerto Morelos, Quintana Roo, 25 km al sur de Cancún (Coronado *et al.*, 2007), en las coordenadas 20° 0' 0'' N, 86° 53' 14.4'' W y 20° 48' 33'' N y 86° 46' 38.94'' W y cubre una superficie de 9,066 ha (González, 2016). El arrecife es de tipo bordeante y está formado por un conjunto de parches coralinos de distinta forma y tamaño (Luviano, 2016). Se forma una laguna arrecifal de 550 a 1,500 m de ancho y profundidad entre 3 y 4 m, la profundidad máxima es de 8 m (Figura 2). La región tiene un clima tropical con dos estaciones marcadas, invierno y verano, que son definidas principalmente por el viento. El invierno va de noviembre a abril, donde se tiene una temperatura media de 24 – 25 °C, en la cual existe una temporada de nortes que se presentan durante los meses de octubre a febrero. Durante el verano se tienen temperaturas entre 29 y 33.5 °C con vientos tropicales de entre 3 – 9 m s<sup>-1</sup> y tormentas frecuentes (Coronado *et al.*, 2007).

El arrecife está constituido por corales escleractineos, principalmente de las especies *Acropora palmata* y *Orbicella annularis* en zonas que van desde escasa pendiente en las que también se encuentran gorgonaceos y esponjas; hasta zonas de mayor relieve con corales de mayor tamaño (González, 2016), también son comunes las especies *Diploria labyrinthiformis*, *Undaria tenuifolia*, *Porites sp.* y *Millepora sp.* (Luviano, 2016).



**Figura 2.** Ubicación del arrecife la Perla del Golfo, Veracruz y Puerto Morelos, Quintana Roo. Modificado de INEGI 2010.

## Materiales y Métodos

La complejidad estructural se estimó a través de el índice de rugosidad, en el caso del arrecife La Perla del Golfo, las medidas se obtuvieron en tres muestreos (abril, junio y agosto del 2016). Para Puerto Morelos, el índice fue consultado bibliográficamente.

En el caso del arrecife La Perla del Golfo, se hicieron mediciones en puntos al azar de la complejidad estructural, tomando la embarcación como referencia y cuidando de no exceder los 50 m de distancia a la misma. Para medir la complejidad estructural, se colocó una cuerda de 1 m de largo (D) sostenida por dos pesos amarrados a cada extremo que se fijaron al sustrato paralelamente a la línea de costa. Con una cadena delgada de 3 m de longitud (C) marcada cada 10 cm, se delineó el contorno del bentos por debajo de la cuerda de 1 m (Figura 3) y se anotó la longitud obtenida en una libreta de campo resistente al agua. Se realizó la misma medición durante una hora de esfuerzo de muestreo. Se fotografiaron distintos puntos con una cámara sumergible Nikon Coolpix. La profundidad máxima del área de estudio fue de 2 m, por lo que las mediciones fueron hechas en buceo libre.

### Análisis de datos

La complejidad estructural (CE) se obtiene del índice de rugosidad (IR) (Risk, 1972), que resulta de la división de la longitud de la cuerda (D) entre la longitud resultante de la cadena (C). Si la superficie fuera completamente lisa, el IR sería 1, entre más complejo arquitectónicamente sea el arrecife, el IR resultante tendrá un valor más alto.

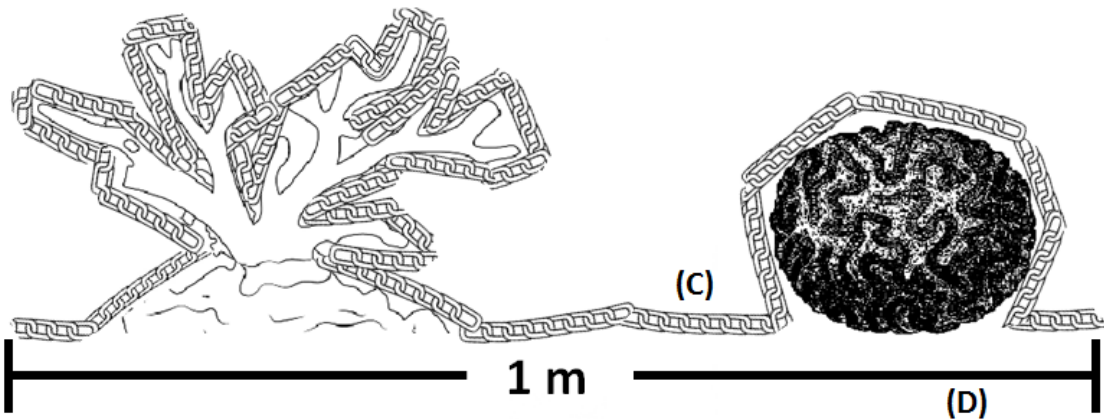
$$IR = \frac{C}{D}$$

Para obtener el valor de la complejidad estructural, se realiza un promedio de todos los puntos muestreados.

$$CE = \frac{\sum IR}{total\ de\ datos}$$

Donde

- IR= Índice de rugosidad.
- C= Longitud de la cadena resultante de delinear el bentos con ella.
- D= Distancia en línea recta de la cuerda debajo de la cual se delineó el bentos.
- CE= Complejidad estructural (promedio de los datos obtenidos del índice de rugosidad).



**Figura 3.** Ilustración del método para medir la complejidad estructural en un arrecife. C representa la cadena con la cual se delineó el bentos debajo del metro de cuerda D.

Para conocer la riqueza y abundancia de organismos, se realizó una consulta bibliográfica en bases de datos científicas, que incluyó artículos científicos, tesis de distinto grado. A partir de publicaciones obtenidas, se estimaron también los siguientes índices para cada grupo:

Índice de diversidad de Shannon-Wiener

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$



Donde

- S= número de especies.
- $P_i = n_i / N$ , donde  $n_i$  es la abundancia de organismos de cada especie  $i$  y  $N$ = abundancia total de organismos.

Diversidad máxima

$$H'_{max} = \log_2 S$$

Donde

- S= número de especies.

Dominancia de Simpson

$$D = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$

Donde

- $n_i$  = abundancia de organismos de cada especie.
- N = abundancia total de organismos.

Para comprobar el valor de dominancia obtenido en el índice de Simpson, se realizó una gráfica de rango-abundancia, en la cual se grafica el valor de  $P_i = n_i/N$  de cada especie, si se obtiene una línea horizontal o escalonada, indica que no existe dominancia, cuando se obtiene una caída abrupta en el grafico, indica dominancia de alguna o algunas especies.

Equitatividad de Pielou

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Donde

- $H'$  = Índice de diversidad de Shannon-Wiener.
- S = número de especies.

La literatura utilizada para conocer la riqueza y abundancia de invertebrados en La Perla del Golfo fue: (Hernández, 2015), (López, 2017) y (García *et al.*, 2016). Para Puerto

Morelos, se tuvo acceso a la base de datos generada por el proyecto de investigación CONABIO: LH010 Invertebrados del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y DGAPA-UNAM: IN205314 y (González, 2016). Por otra parte, para conocer la complejidad estructural del arrecife de Puerto Morelos se utilizó (González, 2016) y (Luviano, 2016).

El índice de similitud de Sørensen compara la similitud entre dos muestras de organismos, este método se basa en datos de presencia-ausencia de especies en los sitios estudiados, de esta manera se evita el sesgo que pudiera existir debido a la diferencia en el tipo de muestreo entre los diferentes estudios. Este índice toma valores de 0 – 1, donde valores cercanos a 0 indican poca similitud y cercanos a 1 indica una composición similar de las especies encontradas entre los sitios comparados.

$$QS = \frac{2C}{A + B}$$

Donde

- A y B es el número de especies de cada sitio
- C es el número de especies encontradas en ambos sitios

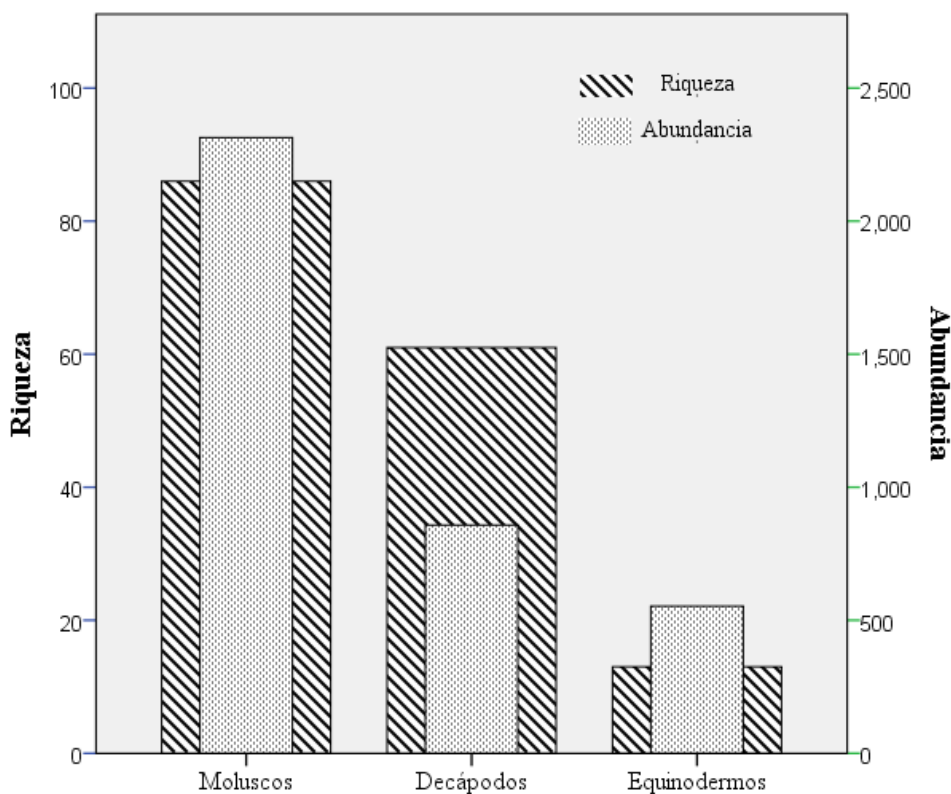
Se obtuvo el índice de similitud de Sørensen total y para cada grupo de invertebrados, conjuntando los datos de los tres grupos analizados: moluscos, decápodos y equinodermos. Se realizó un análisis de agrupamiento ("cluster") para representar gráficamente la semejanza entre los sitios comparados. Para este análisis, se utilizaron los datos obtenidos de riqueza de especies de moluscos, decápodos y equinodermos de los arrecifes La Perla del Golfo, Puerto Morelos y los encontrados en la playa rocosa de Montepío (Vasallos *et al.*, 2014).

## Resultados

### Diversidad de invertebrados

#### La Perla del Golfo

Después de agrupar todos los datos de las diferentes fuentes incluidas en el estudio, se contabilizó un total de 3,725 con una riqueza de 160 especies que están incluidas en tres grupos: moluscos, decápodos y equinodermos, además, se identificaron 13 especies del phylum Cnidaria (Anexo 1). Los moluscos son el grupo con la mayor riqueza de especies, 86 (52%), agrupando el 62% de la abundancia total en el arrecife. El segundo grupo con mayor riqueza es el de los decápodos, agrupando el 38% de las especies, 61, agrupando el 23% del total. Los equinodermos son el grupo con menor riqueza de especies y también el menos abundante, con 13 especies (8%) representando el 15% del total (Tabla 1). Los moluscos superan en riqueza y abundancia a los otros dos grupos de invertebrados (Figura 4).



**Figura 4.** Riqueza y abundancia de las especies de invertebrados encontradas en el arrecife La Perla del Golfo.

En el arrecife se observaron 13 especies del phylum Cnidaria, *Palythoa caribaeorum*, *Protopalythoa variabilis*, *Zoanthus sociatus*, *Z. pulchellus*, *Porites porites*, *Pseudodiploria clivosa*, *Siderastrea radians*, *Actinostella flosculifera*, *Phymathus crucifer*, *Stichodactyla helianthus*, *Millepora alcicornis*, *Leuckartiara octona* y anémona morfotipo 1. De éstas, únicamente cuatro aportan a la complejidad estructural gracias a su conformación tridimensional, tres son corales verdaderos y una es un falso coral, que pertenece a la clase Hydrozoa. Las especies de coral son *Porites porites*, *Pseudodiploria clivosa* y *Siderastrea radians* y el falso coral es *Millepora alcicornis* (Figura 5).



**Figura 5.** Especies de coral encontradas en el arrecife La Perla del Golfo. a) *Porites porites*, b) *Siderastrea radians*, c) *Pseudodiploria clivosa*, d) *Millepora alcicornis*.

La especie *P. porites* se observó con mayor frecuencia respecto a las otras especies de coral en el sitio, además de ser la de cabezas coralinas más grandes, por lo que se clasificó con cobertura abundante. Las especies *P. clivosa* y *S. radians* se encontraban con menor frecuencia, pero sus cabezas coralinas no fueron muy grandes, por lo que su cobertura fue clasificada como común. El falso coral *M. alcicornis* fue escasamente observado, además de que tenía poco crecimiento, por lo que su cobertura fue clasificada como baja.

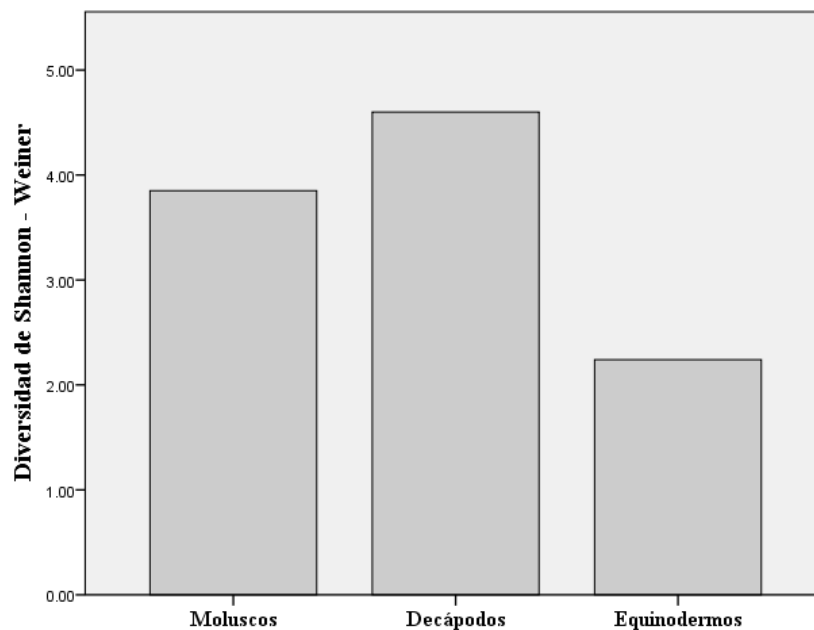
En la tabla 1, se muestra la riqueza de especies, abundancia, índice de diversidad de Shannon – Weiner, diversidad máxima, índice de dominancia e índice de equitatividad, de los tres grupos de invertebrados tomados en cuenta para este estudio. El grupo de los moluscos tiene una abundancia excepcional en algunas especies, tan solo la clase Bivalvia contiene el 83% de la abundancia del grupo y solo tres especies contienen al 64% de la abundancia total del phylum (*Isognomon bicolor*, *I. radiatus* y *Acar domingensis*) (Hernández, 2015) (Anexo 2).

En el orden Decapoda fueron dos especies las que presentaron las mayores abundancias, el cangrejo de la familia Mithracidae *Mithraculus forceps* (14%) y el porcelánido *Petrolisthes columbensis* (10%), en conjunto, sus abundancias representan el 24% de la abundancia total del grupo. Se encontró que 41 especies de las 61 identificadas no presentaron abundancias mayores al 1% de todos los decápodos encontrados en el arrecife (Anexo 2).

En el caso de los equinodermos, sólo dos especies (*Ophiactis savignyi* y *Ophiotrhix angulata*) agrupan el 72% de la abundancia total del phylum. Estas dos especies pertenecen a la clase Ophiuroidea, la cual presentó una abundancia del 80% del total del phylum (López, 2017) (Anexo 2).

Para el caso del índice de diversidad de Shanon – Weiner en la Perla del Golfo, los decápodos tienen un índice alto comparando con el valor de diversidad máxima y de hecho fueron el grupo más diverso en el arrecife ( $H' = 4.6$ ,  $H'_{max} = 5.93$ ), el grupo de los moluscos tienen un valor de diversidad de  $H' = 3.65$  y de  $H'_{max} = 6.42$ . De acuerdo a los datos obtenidos, los equinodermos tienen una diversidad media comparada con su diversidad máxima ( $H' = 2.24$ ,  $H'_{max} = 3.7$ ) (Figura 6).

El phylum Mollusca tiene un índice de dominancia de Simpson de  $D= 0.84$ , como anteriormente se menciona, son pocas las especies en donde se agrupa la mayor abundancia de los organismos recolectados, en el gráfico de rango-abundancia se observa una caída abrupta en la línea, indicando una clara dominancia. El phylum Echinodermata presenta un índice de dominancia de  $D= 0.32$ , en este grupo el 51% de los organismos pertenecen a la especie *Ophiactis savignyi*, especie que también fue encontrada en todos los muestreos (López, 2017) por lo que, a pesar de no ser una especie totalmente dominante en la zona, si se considera recurrente, el gráfico de rango-abundancia muestra una línea escalonada, indicando ausencia de especies dominantes. El índice de dominancia para el grupo de los decápodos resultó bajo ( $D= 0.05$ ). La especie con mayor abundancia alcanza el 18% de la abundancia total del grupo, pero la mayor parte de la abundancia de los organismos se distribuyen equitativamente en las 61 especies registradas y la respectiva gráfica de rango-abundancia también muestra una línea escalonada (Tabla 1) (Figura 9).



**Figura 6.** Índice de diversidad de Shannon – Weiner ( $H'$ ) para los tres grupos de invertebrados analizados en el arrecife La Perla del Golfo, Veracruz.

**Tabla 1.** Riqueza de especies (S), abundancia (n), índice de diversidad de Shannon – Wiener (H'), diversidad máxima (H'max), índice de dominancia de Simpson (D) e índice de equitatividad de Pielou (J') de moluscos, decápodos y equinodermos del arrecife La Perla del Golfo, Veracruz (Hernández, 2015; García *et al.*, 2016; López, 2017).

	<b>S</b>	<b>n</b>	<b>H'</b>	<b>H'max</b>	<b>D</b>	<b>J'</b>
Moluscos	86	2,314	3.65	5.93	0.84	0.57
Decápodos	61	858	4.6	6.42	0.05	0.78
Equinodermos	13	553	2.24	3.7	0.32	0.6

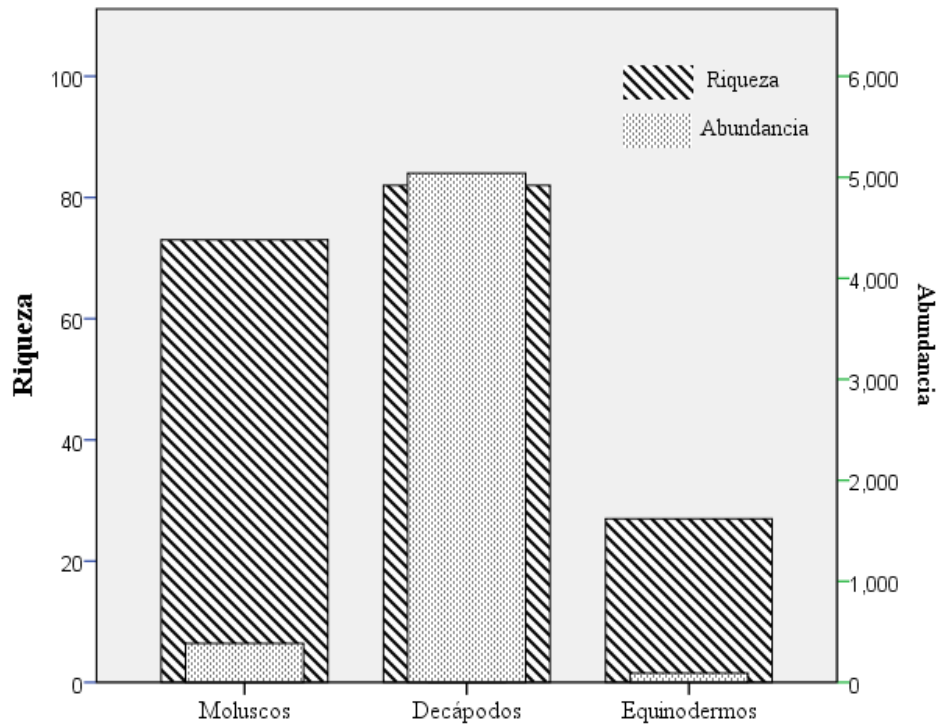
En cuanto al índice de equidad, los tres grupos tienen un valor similar (Tabla 1). Sin embargo, el grupo de los decápodos tiene el valor más alto ( $J' = 0.78$ ), esto sugiere que la abundancia de sus organismos está, en su mayoría, distribuida uniformemente. Con los equinodermos y moluscos el valor disminuye ( $J' = 0.6$  y  $J' = 0.57$ , respectivamente), debido a la alta abundancia de organismos en pocas especies, por lo que la abundancia de los organismos se distribuye con menor uniformidad.

#### Puerto Morelos

En el arrecife fueron contabilizados un total de 5,590 organismos pertenecientes a tres grupos: moluscos, decápodos y equinodermos. Los decápodos son el grupo con mayor riqueza, con 82 especies identificadas, que corresponden al 45% del total de especies en el arrecife, cuya abundancia agrupa el 91% del total con 5,040 organismos. Se identificaron 73 especies del phylum Mollusca, que corresponden al 40% del total de especies en el sitio, cuya abundancia total es de 386 organismos, representando un 7% del total de invertebrados analizados en el arrecife. El phylum Echinodermata es el grupo con menor riqueza, con 27 especies (15%), y el menos abundante, con 91 organismos identificados, conteniendo sólo el 2% de la abundancia total.

En el caso de los moluscos no se encontraron abundancias altas, pero si es relevante señalar que tres especies de la clase Gastropoda abarcan el 43% de la abundancia total del phylum (*Eulithidium adamsi*, *E. bellum* y *Cerithium litteratum*). El orden Decapoda incluye el 91% de la abundancia del arrecife, esto se debe a dos especies en particular, *Calcinus tibicen* y *Mithraculus coryphe*, que presentaron abundancias de 2,145 y 1,314 organismos respectivamente, que equivalen al 42% y 25% de la abundancia total del grupo. Los

organismos del phylum Echinodermata son los menos abundantes, de hecho, ninguna especie del grupo tuvo una abundancia mayor al 1% del total de organismos analizados. *Ophiopsila vittata* fue la especie más abundante con nueve organismos recolectados (Figura 7).



**Figura 7.** Riqueza y abundancia de invertebrados encontrados en el arrecife de Puerto Morelos



**Figura 8.** Índice de diversidad de Shannon – Weiner para los tres grupos de invertebrados analizados en el arrecife Puerto Morelos, Quintana Roo.



La figura 8, muestra la comparación del índice diversidad de Shannon-Wiener de los tres grupos. Los moluscos, que tienen un índice alto ( $H' = 4.71$ ) comparando con su diversidad máxima ( $H'_{max} = 6.1$ ), de hecho, son el grupo con la mayor diversidad. El phylum Equinodermata también presentó un índice de diversidad alto ( $H' = 4.46$ ) comparado con la diversidad máxima del grupo ( $H'_{max} = 4.7$ ). Los decápodos tienen un índice de diversidad medio comparado con su diversidad máxima y son el grupo con la menor diversidad en el arrecife ( $H' = 2.84$ ,  $H'_{max} = 6.3$ ) (Tabla 2).

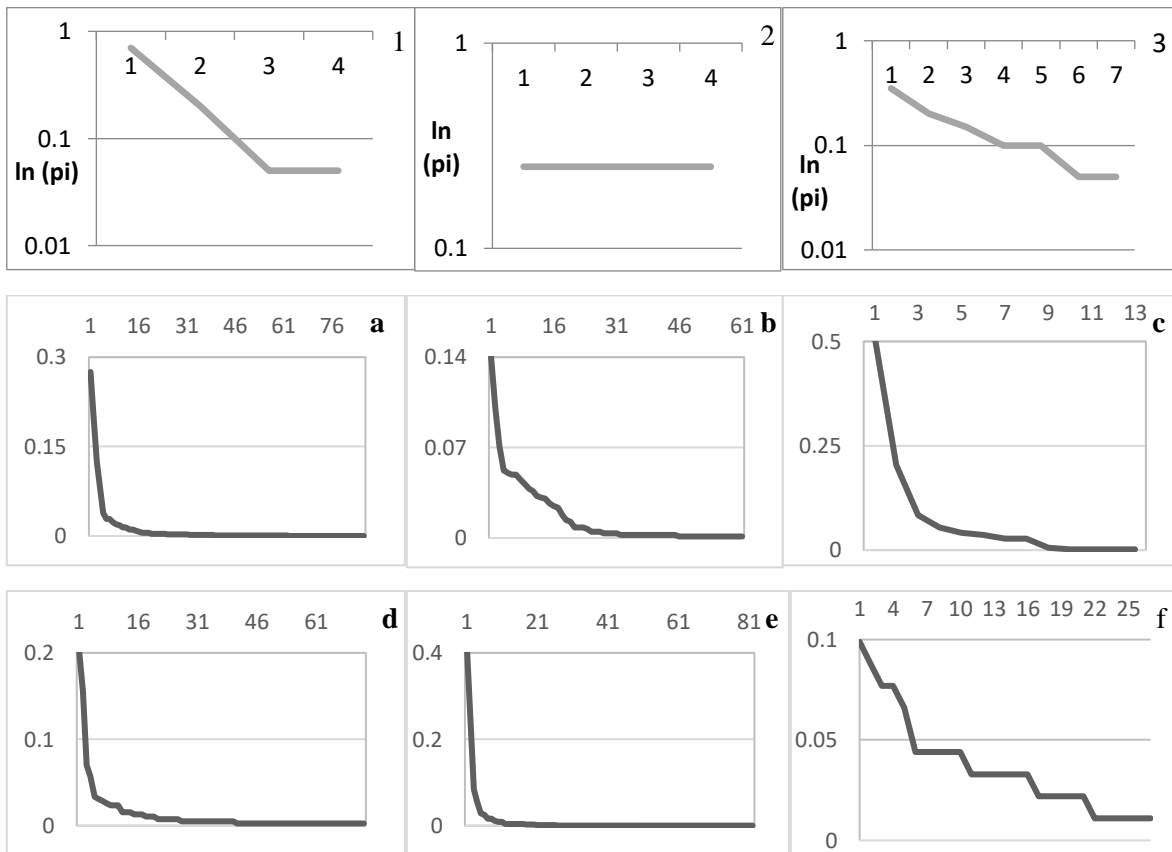
**Tabla 2.** Comparación de la riqueza de especies (S), abundancia (n), índice de diversidad de Shannon – Wiener ( $H'$ ), índice de dominancia de Simpson (D) e índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) de los tres grupos de invertebrados analizados (moluscos, decápodos y equinodermos) en ambos arrecifes.

	S	n	$H'$	$H'_{max}$	D	$J'$
<b>Moluscos</b>						
Perla del Golfo (Hernández, 2016)	86	2314	3.65	6.4	0.84	0.57
Puerto Morelos (Monroy, 2016)	73	386	4.71	6.1	0.006	0.76
<b>Decápodos</b>						
Perla del Golfo (García <i>et al.</i> , 2017)	61	858	4.66	5.9	0.05	0.78
Puerto Morelos (González, 2016 ; Monroy, 2016)	82	5040	2.84	6.3	0.25	0.44
<b>Equinodermos</b>						
Perla del Golfo (López, 2017)	13	553	2.24	3.7	0.32	0.6
Puerto Morelos (Monroy, 2016)	27	91	4.46	4.7	0.05	0.94

En cuanto al índice de dominancia de Simpson, los tres grupos presentaron valores bajos. En los decápodos, el valor del índice fue el más alto de los tres grupos ( $D = 0.25$ ), este es un valor bajo de dominancia, pero en la gráfica de rango-abundancia respectiva se observa una caída abrupta en la línea, indicando que existe alguna especie dominante. Los equinodermos también presentaron un índice de dominancia bajo, de  $D = 0.05$ , indicando la ausencia de alguna (s) especie (s) dominante (s) y la gráfica de rango-abundancia muestra

una línea claramente escalonada. Se obtuvo una  $D= 0.006$  en el phylum Mollusca, éste es el valor más bajo registrado en el estudio, su respectiva gráfica de rango-abundancia muestra una línea escalonada, indicando ausencia de dominancia (Tabla 2) (Figura 9).

El índice de equitatividad de Pielou fue alto en dos de los grupos analizados. En el caso de los equinodermos es más evidente la distribución homogénea de las abundancias, pues se obtuvo una  $J' = 0.94$ . Para los moluscos se obtuvo  $J' = 0.76$ , indicando que las abundancias de las especies se distribuyen homogéneamente. Los decápodos, por su parte, mostraron una  $J' = 0.44$ , lo que indica que alguna o algunas especies tienen abundancias altas (Tabla 2).



**Figura 9.** Se muestran los gráficos de rango-abundancia para cada grupo de invertebrados. La gráfica 1 muestra una típica línea en la que existe dominancia, las gráficas 2 y 3 son líneas para muestras donde no existe dominancia. a) moluscos en La Perla del Golfo, b) decápodos en La perla del Golfo, c) equinodermos en la Perla del Golfo, d) moluscos en Puerto Morelos, e) decápodos en Puerto Morelos y f) equinodermos en Puerto Morelos.

## Complejidad estructural

### Arrecife La Perla del Golfo

Como se observa en la tabla 3, en abril del 2016 se tomaron cuatro medidas en total en el arrecife. De las cuales el punto 1 fue la menor longitud de la cadena (1.33 m) y el punto 2 fue aquel en el que el contorno del coral presentó la mayor longitud (1.83 m) a los cuales correspondió un IR de 1.33 y 1.83, respectivamente. En junio del mismo año, el número de cabezas coralinas medidas aumentó a 20 debido al mejoramiento de la técnica de muestreo. En este mes, el punto 19 fue el de menor longitud de contorno (1.24 m) y los puntos 12 y 17 fueron los de mayor longitud (2.07 m) con un IR de 1.24 y 2.07 respectivamente. Para el último muestreo, en agosto del 2016, se tomaron 22 mediciones, el punto 44 fue el de menor longitud de contorno (1.33 m) y el punto 46 el de mayor (2.29 m) correspondiéndoles un IR de 1.33 y 2.29, respectivamente. Las longitudes más comunes fueron 1.33, 1.4 y 1.62 m. En abril, la complejidad estructural fue de 1.54, en junio fue de 1.63 y en agosto fue de 1.68. Después de 46 puntos medidos en tres muestreos realizados en 2016, la complejidad estructural total del arrecife fue de 1.64 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Meses de muestreo del arrecife La Perla del Golfo, se muestran los puntos de muestreo en cada mes, sumando 46 en total. Cada punto muestra la longitud de la cadena que contorneo el bentos (C), el IR, el valor de la complejidad estructural por mes de muestreo y el valor de la complejidad estructural total.

Mes/muestreo	No. de punto	Longitud (C)	IR = $\frac{C}{1}$	Complejidad estructural por muestreo	Complejidad estructural total
<b>abril-16</b>	1	1.33	1.33	1.54	1.64
	2	1.83	1.83		
	3	1.62	1.62		
	4	1.38	1.38		
<b>junio-16</b>	5	1.33	1.33	1.63	
	6	1.84	1.84		
	7	1.34	1.34		
	8	1.71	1.71		
	9	2.05	2.05		
	10	1.45	1.45		
	11	1.95	1.95		
	12	2.07	2.07		
	13	1.68	1.68		
	14	1.48	1.48		

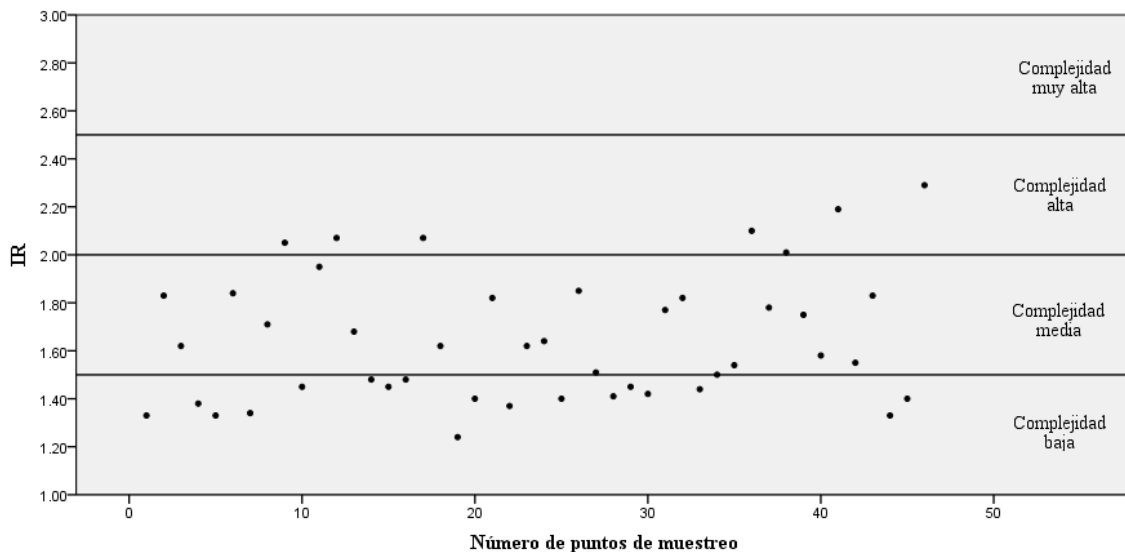
	15	1.45	1.45	
	16	1.48	1.48	
	17	2.07	2.07	
	18	1.62	1.62	
	19	1.24	1.24	
	20	1.4	1.40	
	21	1.82	1.82	
	22	1.37	1.37	
	23	1.62	1.62	
	24	1.64	1.64	
	25	1.4	1.40	
	26	1.85	1.85	
	27	1.51	1.51	
	28	1.41	1.41	
	29	1.45	1.45	
	30	1.42	1.42	
	31	1.77	1.77	
	32	1.82	1.82	
	33	1.44	1.44	
	34	1.5	1.50	
<b>agosto-16</b>	35	1.54	1.54	1.68
	36	2.1	2.10	
	37	1.78	1.78	
	38	2.01	2.01	
	39	1.75	1.75	
	40	1.58	1.58	
	41	2.19	2.19	
	42	1.55	1.55	
	43	1.83	1.83	
	44	1.33	1.33	
	45	1.4	1.40	
	46	2.29	2.29	

Nota: el índice de rugosidad es el cociente entre la longitud de la cadena obtenida en cada punto y la distancia en la que fue medida (1 m). La complejidad estructural es un promedio de los valores del IR.

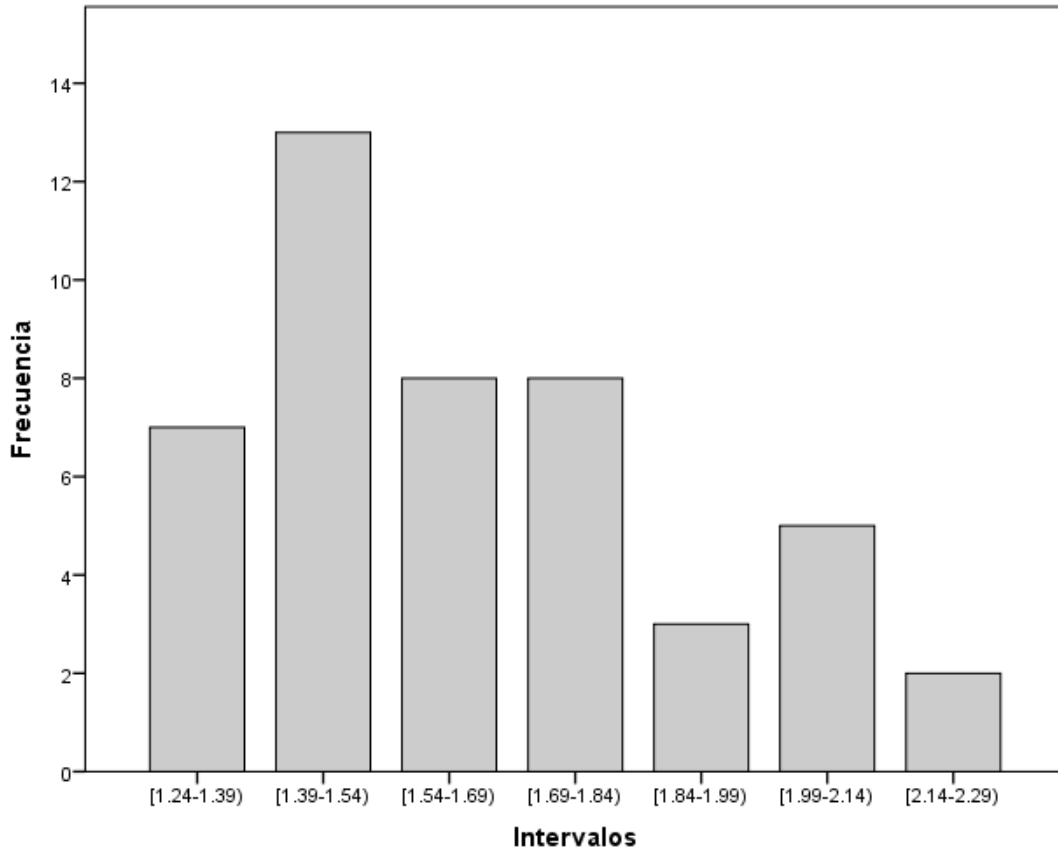
En la figura 10 se observan los valores de IR obtenidos para cada punto del muestreo. Todos los puntos obtuvieron un índice de rugosidad entre 1.24 y 2.29. La mayor cantidad de valores de rugosidad caen entre 1.35 y 1.9 (72%) cuya categoría de complejidad cae dentro de las categorías de complejidad baja y complejidad media. La categoría de complejidad baja agrupa 18 puntos (39%), la categoría de complejidad media agrupa 21 puntos, equivalente al 46% del total de puntos muestreados, siendo la categoría que obtuvo la mayor cantidad de

puntos. La categoría de complejidad alta presentó solo siete puntos (15%). Ningún punto tuvo un índice de rugosidad mayor a 2.5, cuya categoría de complejidad correspondiente es muy alta. El valor de longitud media del conjunto de datos es 1.64, éste valor es también el índice de rugosidad total del arrecife (Tabla 4), este valor cae dentro de la categoría de complejidad media. El valor mínimo de IR muestreado es de 1.24, que es un valor que cae dentro de la categoría de complejidad baja, el valor máximo es de 2.29, este valor cae en la categoría de complejidad alta (Figura 10).

La figura 11, muestra la frecuencia de los puntos divididos en intervalos de valor de IR, el intervalo de rugosidad de 1.39 – 1.54 es el que mayor número de puntos tiene, estos puntos caen dentro de la categoría de complejidad baja. Los intervalos de 1.54 – 1.69 y 1.69 – 1.84, son los siguientes con mayor acumulado de puntos, ambos están dentro de la categoría de complejidad media. La categoría que menor cantidad de puntos agrupa es la de 2.14 – 2.29, en esta categoría están los puntos con el mayor valor del índice de rugosidad en el arrecife. En la figura 12, se muestra un perfil del arrecife en el que se puede observar corales mayormente masivos y con pocas ramificaciones, además de oquedades formadas por la erosión del sustrato.



**Figura 10.** Índice de rugosidad de los 46 puntos muestreados en el arrecife La Perla del Golfo durante los meses de muestreo abril, junio y agosto del 2016. Los puntos se encuentran entre valores de 1.24 y 2.3.



**Figura 11.** Frecuencia de acumulación de los puntos muestreados en intervalos de IR de 0.15 en el arrecife La Perla del Golfo.



**Figura 12.** Perfil del arrecife La Perla del Golfo, Veracruz.

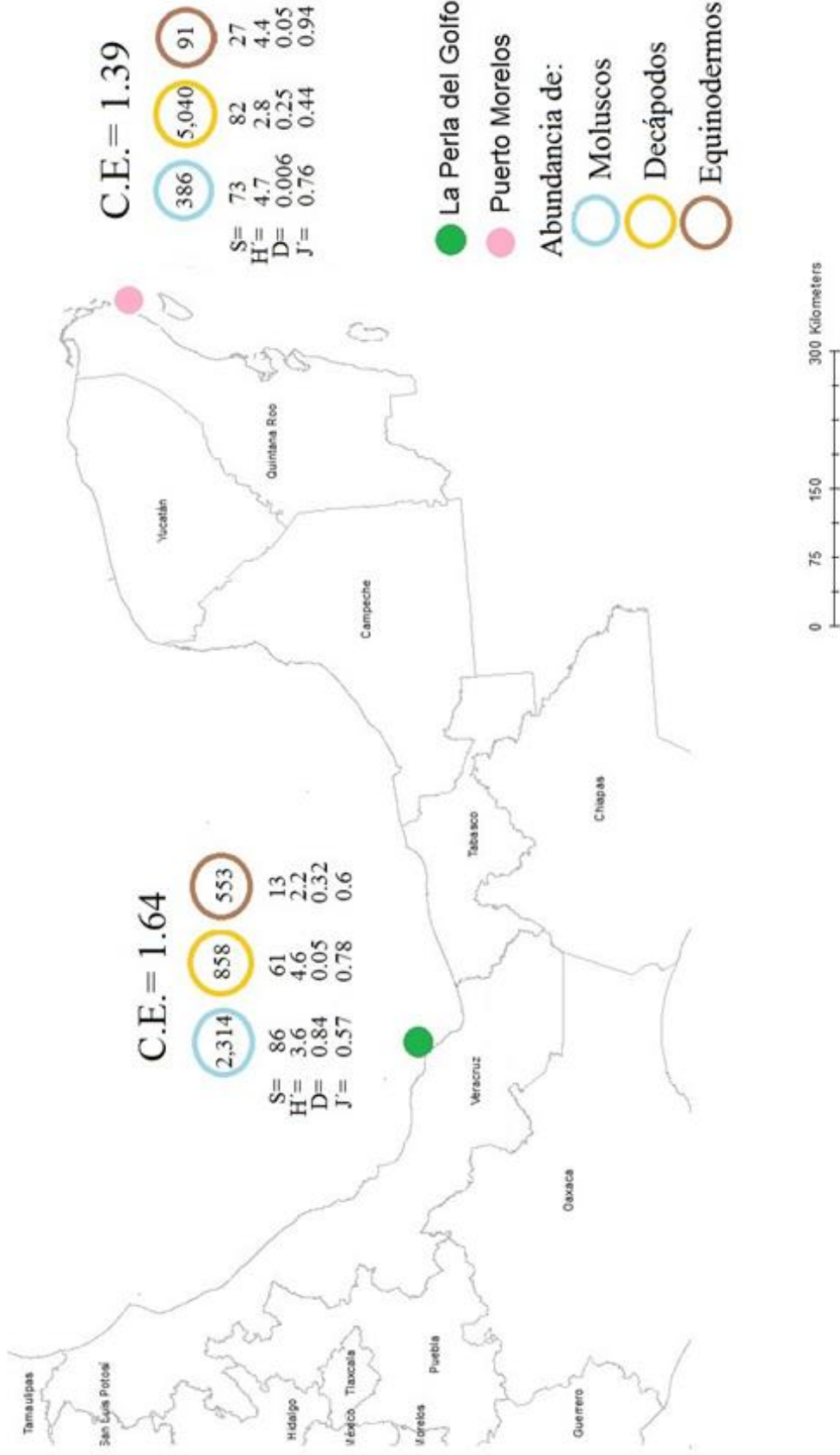
**Tabla 4.** Valor de la complejidad estructural de los arrecifes La Perla del Golfo, Veracruz y Puerto Morelos, Quintana Roo.

<b>Autor/año</b>	<b>Localidad</b>	<b>Valor del índice de rugosidad por sitio</b>	<b>Intervalo del valor de IR registrado</b>
<b>González, 2016 y Luviano, 2016</b>	Puerto Morelos	1.39	1.02-1.9
<b>Presente estudio</b>	La Perla del Golfo	1.64	1.24-2.29

#### Puerto Morelos

De acuerdo a González (2016), se reporta un IR de 1.20 y 1.28, correspondientes a los sitios “Limonos” y “Bonanza” que se encuentran ubicados dentro de una zona degradada del arrecife; este IR entra en la categoría de complejidad baja. Luviano (2016), reporta un IR de 1.9 y 1.02, el primero de ellos se clasifica como de complejidad estructural media y el segundo entra dentro de la categoría de complejidad baja. Estos datos promediados resultan en un IR total de 1.39 que corresponde a la categoría de complejidad baja (Tabla 4).

En la figura 13, se muestra un esquema comparativo entre los dos arrecifes analizados. En el esquema se puede observar su posición geográfica, el índice de rugosidad reportado para cada arrecife, así como las abundancias totales de los tres grupos de invertebrados tomados en cuenta para el estudio (moluscos en azul, decápodos en amarillo y equinodermos en café), debajo de estas, se observan las riquezas correspondientes para cada grupo, así como en valor del índice de diversidad (H'), de dominancia (D) y equidad (J), en orden descendente, en ambos arrecifes.

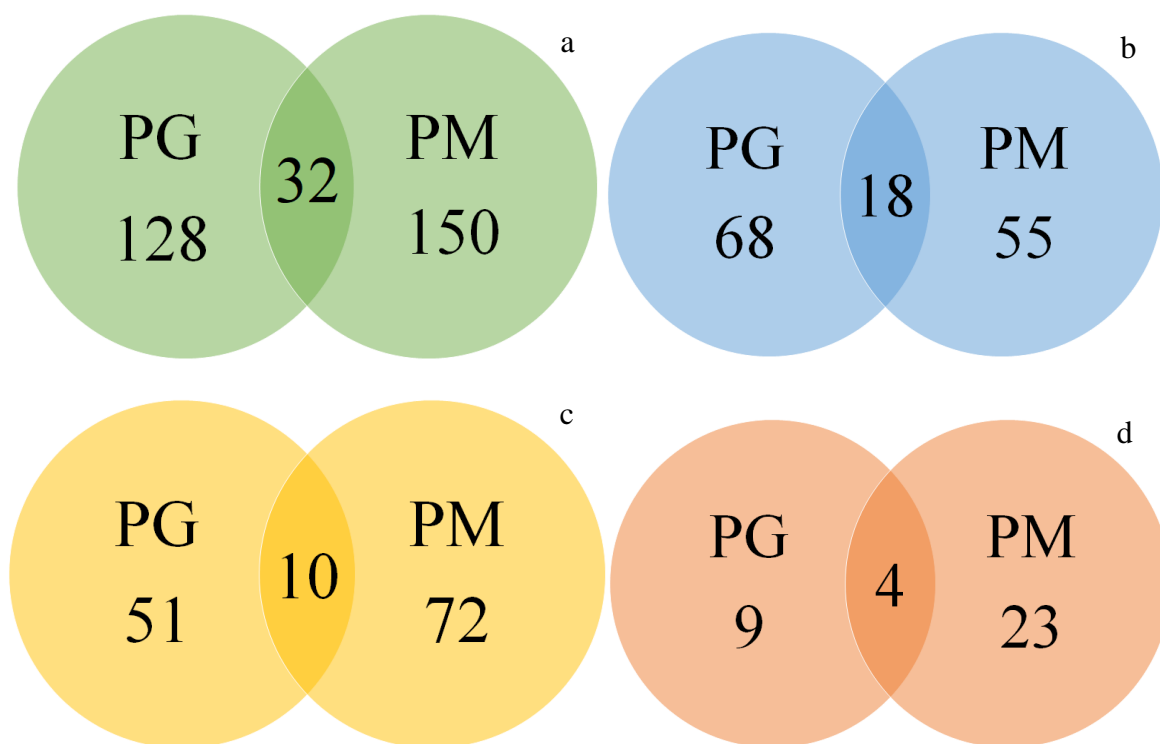


**Figura 13.** Comparación de la complejidad estructural (C.E.), riqueza (S), abundancia, índice de Shannon - Weiner ( $H'$ ), índice de dominancia de Simpson (D) e índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) de los tres grupos de invertebrados analizados (moluscos, decápodos y equinodermos) en los arrecifes La Perla del Golfo, Veracruz y Puerto Morelos, Quintana Roo.



## Comparación entre arrecifes

Se identificaron 310 especies de los tres grupos de invertebrados analizados para ambos arrecifes. En el arrecife La Perla del Golfo se identificaron 128 especies (41.3%) y 150 en el arrecife de Puerto Morelos (48.4%). Se observaron 32 especies que se encuentran en ambos arrecifes (10.3%) (Figura 14a). Se identificaron 141 especies de organismos del phylum Mollusca en ambos arrecifes, de los cuales 68 especies (48%) fueron halladas en La Perla del Golfo y 55 (39%) en Puerto Morelos, 18 especies (13%) fueron encontradas en ambos arrecifes (Figura 14b). En cuanto al orden Decapoda, se identificó un total de 133 especies distintas, de las cuales, 51 (38.5%) fueron identificadas en La Perla del Golfo y 72 (54%) en Puerto Morelos, 10 especies (7.5%) se encontraron en ambos arrecifes (Figura 14c). Por último, se identificaron 36 especies del phylum Echinodermata, de las cuales, nueve (25%) se encontraron en La Perla del Golfo y 23 (64%) en Puerto Morelos, cuatro especies de este phylum (11%) fueron halladas en ambos arrecifes (Figura 14d).



**Figura 14.** a) Cantidad total de especies de los tres grupos de invertebrados compartidas entre los arrecifes analizados (PG: arrecife La perla del Golfo; PM: arrecife de Puerto Morelos). b) Número de especies de moluscos compartidas entre ambos arrecifes. c) Número de especies de decápodos compartidas entre ambos arrecifes. d) Número de especies de equinodermos compartidas entre ambos arrecifes.

## Análisis de similitud de Sørensen

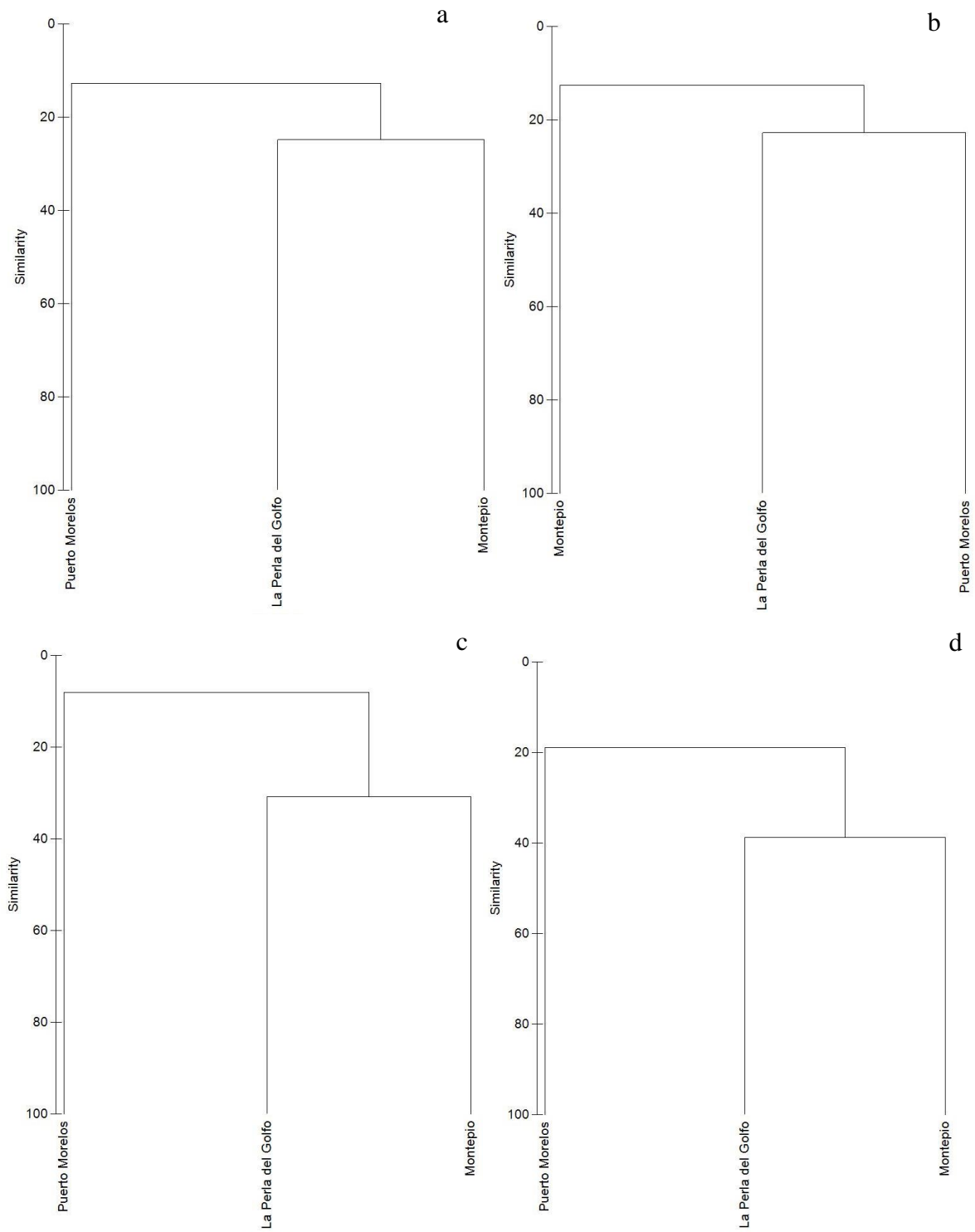
Se calcularon el índice de similitud de Sørensen total y uno para cada grupo de invertebrados para evaluar si existe relación entre los sitios estudiados. El valor del índice total entre La Perla del Golfo y Puerto Morelos fue de  $QS = 0.18$ , que es una similitud baja. Entre La Perla del Golfo y Montepío fue de  $QS = 0.24$ , indicando que existe mayor relación entre estos sitios. Entre Montepío y Puerto Morelos se obtuvo un índice de  $QS = 0.07$ , siendo éstos sitios los que menor relación composicional tienen (Figura 15a).

El valor del índice de Sørensen para el grupo de los moluscos entre La Perla del Golfo y Puerto Morelos es de  $QS = 0.22$ ; mientras que entre La Perla del Golfo y Montepío fue de  $QS = 0.18$ , a su vez, el valor del índice entre la playa de Montepío y Puerto Morelos fue de  $QS = 0.07$ . Indicando que existe mayor relación entre la composición de especies de moluscos entre ambos arrecifes que entre Montepío y La Perla del Golfo o Puerto Morelos (Figura 15b).

El valor del índice de Sørensen para los decápodos entre La Perla del Golfo y Puerto Morelos es de  $QS = 0.12$ ; mientras que entre La Perla del Golfo y Montepío es de  $QS = 0.3$  y la relación entre Puerto Morelos y Montepío es de  $QS = 0.03$ . La mayor relación composicional de especies de decápodos encontrada es entre el arrecife veracruzano y la playa de Montepío, la relación entre el arrecife de Puerto Morelos y Montepío es baja (Figura 15c)

El valor del índice de Sørensen para los equinodermos entre La Perla del Golfo y Puerto Morelos es de  $QS = 0.2$ , entre La Perla del Golfo y Montepío es  $QS = 0.38$  y entre Puerto Morelos y Montepío es de  $QS = 0.17$ . La mayor relación composicional es entre La Perla del Golfo y Montepío, la relación entre Puerto Morelos y la playa de Montepío es la más baja en entre este grupo (Figura 15d).

Todos los valores del índice mostraron una relación baja entre la composición de especies de los sitios estudiados. Sin embargo, los grupos más relacionados son los equinodermos y los decápodos de La Perla del Golfo y Montepío; mientras que los menos relacionados son los decápodos y moluscos de Puerto Morelos y Montepío.



**Figura 15.** Diagrama de similitud de Sørensen entre la composición de invertebrados de ambos arrecifes y Montepío: a) total, b) phylum Mollusca, c) orden Decapoda, d) phylum Echinodermata.

## Discusión

### Diversidad de invertebrados

#### La Perla del Golfo

El índice de diversidad de Shannon-Wiener aplicado a los tres grupos de invertebrados en el arrecife, mostró altos valores en moluscos ( $H' = 3.85$ ) y crustáceos ( $H' = 4.6$ ) y un valor medio para equinodermos ( $H' = 2.24$ ). La diversidad que un arrecife puede albergar varía de acuerdo a la complejidad estructural que posee, mientras mayor sea la complejidad estructural y por lo tanto exista una mayor cantidad de refugios, mayor será la biomasa y diversidad que puede sostener y viceversa (Alvarez-Phillip *et al.*, 2011). Por lo anterior, se esperaba que los valores de diversidad en La Perla del Golfo fueran intermedios en todos los grupos estudiados. Sin embargo, en este estudio, moluscos y crustáceos, presentan una diversidad superior a la esperada, lo que sugiere que existen otros factores que promueven el reclutamiento y crecimiento de estos invertebrados en el sitio, estos factores pudieran ser el fuerte oleaje de la zona y la constante sedimentación, lo que vuelve al arrecife un sitio altamente dinámico respecto a la disponibilidad de refugio.

De acuerdo a lo reportado por Hernández (2016), la proporción de moluscos en la Perla del Golfo (56% Gastropoda, 36% Bivalvia, 7% Polyplacophora y 1% Scaphopoda), coincide con las proporciones observadas en arrecifes de coral. López-Rivas (2000), para corales al sur de Nayarit concluyó que el 77% de los organismos pertenecieron a la clase Gasteropoda, 21% a la clase Bivalvia, y 2% a la clase Polyplacophora. Landa-Jaime *et al.* (2013), en el arrecife Tenacatitla, Jalisco, encontraron que el 71% de los organismos encontrados fueron moluscos, 19% bivalvos, 9% polioplacóforos y 1% cefalópodos.

Vasallo *et al.* (2014), en el inventario de invertebrados de la playa rocosa de Montepío registraron 69 especies de moluscos, de las cuales 13 también se encuentran en el arrecife La Perla del Golfo (15% del total del arrecife). La abundancia de éstas especies en el arrecife representó el 71% de la abundancia del grupo y se deben principalmente a tres especies: *Isognomon bicolor*, *I. radians* y *Acar domingensis*. Ocho de las especies encontradas en La

Perla del Golfo y que también fueron identificadas en la playa rocosa de Montepío, tres pertenecen a la clase Gastropoda y cinco a la clase Bivalvia.

El índice de diversidad de Shannon – Weiner indica alta diversidad en el grupo de los moluscos ( $H' = 3.84$ ). Este índice es similar al reportado por García-Cubas (1995), para la laguna de Sontecomapan ( $H' = 3.41$ ), en donde la presencia de organismos, así como el índice de diversidad, fue mayor para gasterópodos y bivalvos en la zona euhalina de la laguna. Aguilar-Estrada (2014), reportó un  $H' = 2.42$  para los gasterópodos en el arrecife de Isla Verde en el PNSAV, encontrando un total de 1,086 organismos distribuidos en 48 especies. En la Perla del Golfo, el índice para el mismo grupo es muy superior,  $H' = 4.3$ , donde la abundancia total fue de 286 organismos en 47 especies (Hernández, 2016).

El índice de dominancia de Simpson que se obtuvo fue de  $D = 0.84$ , lo que indica alta dominancia de algunas especies. Las especies del género *Isognomon* tuvieron abundancias del 51% del total del grupo y son superiores en abundancia a las de las demás especies (Hernández, 2016). El índice de equidad es de  $J' = 0.57$ , lo que indica una uniformidad media en la abundancia de los moluscos del arrecife. Esto indica que existen algunas especies cuya abundancia es mayor a las generales del grupo. Las especies con abundancias mayores en el phylum son *Isognomon bicolor*, *I. radians* y *Acar domingensis*, *Lithophaga aristata* y *L. bisculata*, además de que existen 10 especies más cuya abundancia es mayor al 1% (23 organismos) de la abundancia del grupo. González-Medina *et al.* (2006), obtuvieron un valor de equidad entre  $J' = 0.33$  y 0.4 en diferentes meses de muestreo en moluscos del archipiélago Espiritu Santo, Baja California. Mencionan que una mayor variabilidad de sustratos repercute en un mayor valor de equitatividad, esto se reflejó en los análisis especiales que realizarón, donde los sitios de litoral expuestos con una inclinación fuerte, reflejaron índices de diversidad y equidad bajos, mientras que los sitios someros, semiprotectidos con sustrato rocoso, arenoso y coralino mostraron valores de diversidad y equitatividad mayores. Para corroborar si esto también se cumple en La Perla del Golfo, sería ideal realizar muestreos en la zona mas expuesta del arrecife.

En el arrecife se contabilizó un total de 61 especies de decápodos. En el estado se registra que existen alrededor de 276 especies de crustáceos decápodos (Álvarez *et al.*, 1999;

Hermoso y Arvizu, 2007), por lo que en el arrecife La Perla del Golfo se encuentran, al menos, el 22% de las especies de decápodos registradas para el estado de Veracruz.

Vasallo *et al.* (2014), registraron 43 especies del orden Decapoda en la playa rocosa de Montepío, de las cuales 16 también se encuentran en el arrecife La Perla del Golfo (26%), y que representan el 35% de la abundancia del mismo. En este estudio se menciona que existe un constante reemplazo de especies debido a la estacionalidad de la zona, este sitio es cercano al arrecife, por lo que además de estar posiblemente relacionados composicionalmente, también es posible que exista un constante recambio de especies en el arrecife, ya que gran parte de de las especies de este grupo sólo se encontraron en uno de los muestreos. En el PNSAV, se registró un total de 177 especies de decápodos, donde la mayoría de las especies encontradas son de la familia Alpheidae (23), seguido por la familia Mithracidae (14), Portunidae (12) y Xanthidae (9) (Hermoso y Arvizu, 2007). En La Perla del Golfo se observó un patrón similar, ya que las familias con más especies encontradas son: Alpheidae (27), Porcellanidae (12), Mithracidae (5) y Xanthidae (4) y Pseudorhombilidae (4).

El índice de diversidad de Shannon-Weiner obtenido para los decápodos de La Perla del Golfo es de  $H' = 4.66$ , el cual es un valor de diversidad alto. Los hábitos alimenticios de los decápodos son muy variables, algunas especies son filtradoras, suspensivoras, otras prefieren alimentarse de algas, también es posible encontrar a las especies carnívoras, entre las que se encuentran las que prefieren esponjas, poliquetos, moluscos, copépodos, anfípodos, equinodermos y zooplanckton (Foxton y Roe, 1974; Zupi y Fresi, 1985; Cartes, 1998). Los decápodos encontrados en el arrecife son, en su mayoría, de tallas pequeñas (no mayores a 2 cm), lo que les permite encontrar refugio en las cavidades propias del arrecife. Tanto la versatilidad de hábitos alimenticios, como la disponibilidad de refugio son factores que propician la alta diversidad del grupo en el arrecife. Hernández (2009), llevó a cabo un estudio de la estructura de la comunidad de crustáceos en la playa rocosa de Montepío y el arrecife de tubos de poliquetos del Morro de la Mancha, en Veracruz. En estos sitios obtuvo valores de diversidad de  $H' = 2.94$  en Montepío y de  $H' = 3.83$  para La Mancha, indicando una diversidad media en Montepío y alta en El Morro, la diversidad observada en La Perla del Golfo fue mayor comparada con estos dos sitios. Es necesario señalar que el estudio de

Hernández (2009), considera a todos los crustáceos, esto debe de tomarse en cuenta respecto a la comparación con el orden Decapoda.

En cuanto a la dominancia, se obtuvo un índice de Simpson de  $D = 0.05$ . Este es un valor bajo, lo que indica que no existe dominancia de alguna(s) especie(s) de decápodos. Únicamente *Mithraculus forceps* tuvo una abundancia relevante (121 organismos, equivalente al 14% de la abundancia del grupo). En cuanto al índice de equidad de Pielou, se obtuvo un valor de  $J' = 0.78$ , indicando una alta uniformidad de las abundancias del grupo, 41 especies tuvieron abundancias menores al 1% y 17 especies tuvieron abundancias menores al 6% del total de las 61 encontradas del grupo en el arrecife. Hernández (2009), reportó para Montepío una equidad de  $J' = 0.57$ , y en La Mancha  $J' = 0.64$ , además de obtenerse una gráfica de equidad, la cual mostró que las especies se encuentran distribuidas uniformemente, lo cual coincide con lo encontrado en La Perla del Golfo para el orden Decapoda.

En el arrecife se identificaron 13 especies de equinodermos (López, 2017), las cuales representan el 6% de las 209 especies registradas en el Golfo de México (Durán-González *et al.*, 2005). Las especies presentes en el arrecife representan el 1% de las especies de la clase Asteroidea en el Golfo de México, 14% de la clase Ophiuroidea, 6% de las especies de la clase Echinoidea y 3% de las especies de la clase Holothuroidea.

Vasallo *et al.* (2014), en el inventario de invertebrados de la playa rocosa de Montepío, registraron seis especies que también fueron identificadas en el arrecife La Perla del Golfo (46% del total del arrecife), de las cuales una especie pertenece a la clase Asteroidea, dos a la clase Ophiuroidea y tres a la clase Echinoidea. Ninguna de las especies de la clase Holothuroidea encontrada en la playa rocosa de Montepío, fue encontrada en el arrecife.

En cuanto al índice de diversidad de Shannon-Weiner, en La Perla de Golfo se obtuvo un valor de  $H' = 2.24$ , el cual es un valor de diversidad medio. Esto coincide con lo obtenido en el arrecife Rizo ( $H' = 2.26$ ), ubicado en el PNSAV, en un estudio sobre equinodermos del Sistema Arrecifal Veracruzano, donde también se obtuvo el índice de diversidad del arrecife Isla Sacrificios, éste mostró un valor bajo ( $H' = 1.55$ ) (González, 2014). En los dos arrecifes, el grupo con mayor riqueza de especies fue el de los ophiuroideos. Esto se atribuye a su alta capacidad de encontrar refugio en el arrecife y adaptarse al alimento de su entorno (Solís-

Marín y Mata-Pérez, 1999; González, 2014), en el arrecife La Perla del Golfo también fue la clase que registró la mayor riqueza. González (2014), menciona que el tipo de muestreo efectuado no fue el adecuado para algunas clases de organismos de este phylum, ya que presentan hábitos infaunales, por lo que, al igual que en La Perla del Golfo, es necesario llevar a cabo muestreos especializados en la búsqueda de estos organismos, lo que seguramente repercutirá en el aumento en la diversidad del grupo (López, 2017).

El índice de dominancia de Simpson mostró una dominancia baja,  $D = 0.32$ . Dos especies presentaron abundancias altas, *Ophiactis savignyi*, que representó el 51% y *Ophiothrix angulata* que representó el 20% de la abundancia total del grupo pero en el gráfico de rango-abundancia se observa una línea escalonada, indicando una distribución uniforme de las abundancias del grupo. El índice de equidad, nos sugiere una equidad media en las abundancias de las especies encontradas ( $J' = 0.6$ ), como se pudo observar, la mayor parte de las especies tienen abundancias menores a 30 organismos (5%), y sólo tres especies registraron abundancias mayores (López, 2017). González (2014), obtuvo un índice de equitatividad más bajo que en La Perla del Golfo,  $J' = 0.3$  en el arrecife Isla Sacrificios y  $J' = 0.49$  en el arrecife Rizo, a pesar de que el número de especies con abundancias altas fue similar. La diferencia entre la abundancia de estas especies con respecto a las especies con baja abundancia, fue mayor que en La Perla del Golfo.

En el caso de los equinodermos, su distribución depende en gran medida del sustrato. Los erizos buscan áreas con cobertura algal de la que puedan alimentarse, con rocas expuestas y sedimento fino, estos tienen densidades bajas en arrecifes con alta complejidad (Dumas, 2006). El arrecife de La Perla del Golfo se caracteriza por tener rocas expuestas y alta cantidad de sedimento durante gran parte del año y una complejidad estructural media. Por lo que se esperaría encontrar mayores densidades en el sitio, muy probablemente el interperismo de la zona y refugios de tamaño insuficiente para los organismos les impiden fijarse al sustrato. El estudio de Labbé-Bellas (2016), mostró que la presencia de erizos en arrecifes de coral está correlacionada positivamente con la profundidad, complejidad del sustrato y la presencia de algas calcáreas y está negativamente correlacionado con la presencia de corales escleractinios y milleporas. La poca profundidad y la ausencia de algas



calcáreas en el sitio pueden ser factores que no contribuyan al desarrollo de estos organismos, además que el arrecife está constituido por corales escleractineos y milleporas.

No son claras las variables ambientales que influyen en la presencia de erizos, ya que se han encontrado correlaciones positivas y/o negativas con distintas variables ambientales. Lo que parece ser más certero es que distintas especies de erizos tienen relaciones especie-específico tanto de recursos de alimentación y condiciones de reproducción, por lo que su composición en distintos arrecifes es muy variable (Labbé-Bellas, 2016). Esto explicaría porque en el arrecife La Perla del Golfo no se encontró mayor riqueza y abundancia de erizos; es decir, muy probablemente no exista un rango de factores tanto físicos como químicos, complejidad del sustrato y disponibilidad de recursos adecuada para la presencia de estos organismos, o bien, habría que realizar muestreos más intensivos y propios para la clase para corroborar la diversidad, tanto de la clase, como del phylum. En el mismo estudio, *Echinometra lucunter* tuvo abundancias excepcionales, de más del 90% de los erizos contabilizados y parece estar positivamente correlacionada con corales escleractinios y milleporas, algas calcáreas y sustrato desnudo. La misma especie se identificó en La Perla del Golfo, aunque no en la misma proporción (5%) si fue la especie de erizo con mayor abundancia, además de que fue encontrada en todos los muestreos. *Echinometra lucunter* parece tener facilidad para excavar sustrato calcáreo, aportando también a la complejidad estructural del arrecife, además de que prefiere ambientes expuestos (Labbé-Bellas, 2016). Este tipo de ambiente coincide con el encontrado en el arrecife veracruzano. Vicencio (2013), también reporta a la especie como más importante en la zona de planicie en el arrecife Lobos en Veracruz.

#### Puerto Morelos

En el arrecife de Puerto Morelos se identificaron 73 especies de moluscos, las cuales corresponden al 3.5% de las especies registradas para la porción del Golfo de México y el Caribe mexicano (Castillo-Rodriguez, 2014), las cuales pertenecen a la misma provincia zoogeográfica (Ekman, 1967; García-Cubas y Reguero, 2004). En un estudio realizado en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, se identificaron 50 especies de moluscos, estos se

encontraron en distintos sustratos, siendo la zona algal y con fondos arenosos la que registró mayor abundancia de organismos (Estrada, 1999).

En Puerto Morelos se obtuvo un índice de diversidad de Shannon-Weiner de  $H' = 4.71$  en los organismos del phylum Mollusca. Este es un valor de diversidad alto. Los arrecifes caribeños se caracterizan por estar formados por corales arquitectónicamente complejos, por lo cual, pueden albergar una alta diversidad de organismos (Reyes-Bonilla y Jordán-Dahlgren, 2017). En Punta Patilla, en el Caribe venezolano, se obtuvo un índice total de  $H' = 3.12$ , diversidad que también se considera alta, aunque el valor varió de acuerdo a la estacionalidad, ya que en las temporadas donde las surgencias con aguas frías aportan nutrientes, se observaron valores mayores en el índice de diversidad (Prieto *et al.*, 2005). En el estudio realizado por Estrada (1999), el índice de diversidad obtenido fue bajo en todas las zonas contempladas, la zona con mayor diversidad para el phylum Mollusca fue donde mayor densidad de alga se encontró ( $H' = 2.1$ ), aunque se menciona que el método de colecta no fue el más adecuado para la zona arrecifal, por lo que se puede esperar una mayor diversidad en esa zona, lo que ha quedado demostrado con los datos del presente estudio.

En cuanto al índice de dominancia de Simpson, en el arrecife de Puerto Morelos, se obtuvo un valor de  $D = 0.006$ , indicando una baja dominancia de alguna especie. Únicamente *Eulithidium adamsi* y *E. bellum*, tuvieron abundancias mayores del 36% y sólo cuatro especies tuvieron abundancias mayores al 5% del total para el grupo. También se obtuvo un valor alto en el índice de equidad de Pielou ( $J' = 0.76$ ), indicando uniformidad en las abundancias de la mayor parte de las especies encontradas. En Punta Patilla, Venezuela, el valor obtenido para el índice de dominancia fue de  $D = 0.85$ , lo cual indica una alta dominancia de alguna(s) especie(s). Este valor también fluctuó, e incluso en cierta época del año, el valor de dominancia obtenido fue bajo, misma época en la que el valor obtenido en el índice de equitatividad, fue el más alto  $J' = 0.74$  (Prieto *et al.*, 2005), valor muy similar al obtenido en Puerto Morelos. Estrada (1999), obtuvo valores distintos del índice de equitatividad en las distintas zonas de su estudio en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, obteniendo los valores más bajos en la zona arrecifal ( $J' = 0.17$ ), mostrando una equitatividad muy baja, y los más altos en la zona dominada por sustrato algal ( $J' = 0.66$ ). Este resultado

contrasta con el obtenido en el presente estudio, ya que el índice de equitatividad mostró ser alto en la zona arrecifal de Puerto Morelos.

Se identificaron 82 especies de decápodos en el arrecife de Puerto Morelos, de acuerdo a Álvarez *et al.* (2014). En el Caribe mexicano se han reconocido 421 especies de este grupo, por lo tanto, en la porción del arrecife de Puerto Morelos es posible encontrar el 19% de la riqueza de decápodos del Caribe mexicano. En el estudio realizado por Estrada (1999), en la zona de la laguna arrecifal de Puerto Morelos, se identificaron 68 especies de crustáceos, obteniéndose mayor riqueza en la zona arrecifal que en la zona de pastos marinos. Esta cantidad equivale al 82% de la riqueza reportada en el presente estudio. Sin embargo, es importante señalar que en el estudio de Estrada (1999) se tomó en cuenta organismos de todo el subphylum, mientras que para el presente trabajo sólo se toman en cuenta organismos del orden Decapoda.

El valor del índice de diversidad de Shannon-Weiner obtenido para el orden Decapoda en Puerto Morelos es de  $H' = 2.84$ . Este valor indica una diversidad media, a pesar de ser el grupo que mayor riqueza de especies tuvo en el arrecife, se obtuvieron registros de especies con abundancias altas, tal es el caso de *Calcinus tibicen*, *Mithraculus coryphe* y *Domecia acanthophora*, estas abundancias representaron el 73% de la abundancia del grupo, lo que repercutió directamente en el valor del índice de diversidad. En la laguna arrecifal de Puerto Morelos, también se reportó un índice de diversidad medio en la zona compuesta principalmente por arrecife de coral ( $H' = 2.3$ ) y a su vez, se menciona que la abundancia de los organismos fue alta (Estrada, 1999), similar a lo que se observó en el arrecife, aunque como se mencionó anteriormente, en el estudio se consideraron a todos los crustáceos encontrados, por lo que la comparación debe tomarse con las debidas reservas.

El índice de dominancia de Simpson obtenido para el orden Decapoda, fue bajo ( $D = 0.25$ ), esto indica ausencia de dominancia de algunas especies en el arrecife. Sin embargo, el gráfico de rango-abundancia del grupo indicó que si existe alguna(s) especie dominante, las especies *Calcinus tibicen* y *Mithraculus coryphe* agrupan el 69% de la abundancia total del grupo, abundancias muy por encima a las del grupo, por lo tanto, se consideran especies dominantes. En cuanto al índice de equidad de Pielou, se obtuvo un valor de  $J' = 0.44$ , este valor indica una uniformidad media en las abundancias de los organismos. Es importante

mencionar que además de las especies con abundancias muy altas, la abundancia registrada de decápodos fue variable, encontrándose en rangos de 1 a 280 organismos por especie. En la laguna arrecifal, Estrada (1999), también registra valores medios del índice de equitatividad ( $J' = 0.6$ ).

En el arrecife de Puerto Morelos, se reconocieron 27 especies de equinodermos. En todo el Mar Caribe se tienen registradas 443 especies y sólo en la porción mexicana, es posible encontrar 182 especies de este phylum (Alvarado, 2010). Por lo que, en el arrecife de Puerto Morelos, es posible observar el 6% de las especies del Caribe y el 15% de las especies registradas para el phylum Echinodermata en el Caribe mexicano. Es importante señalar que todos los organismos del phylum reconocidos en este estudio pertenecen a la clase Ophiuroidea. Laguarda-Figuera *et al.* (2004), en su estudio de ophiuroideos del arrecife de Puerto Morelos, reconocen 39 especies de esta clase, por lo que en este estudio se obtuvieron 12 especies menos (31%), aunque cuatro de las especies encontradas no se mencionan en el estudio de Laguarda-Figuera *et al.* (2004) (*Ophiophragmus moorei*, *O. septus*, *Ophiostigma siva* y *Amphiodia riisei*).

El índice de diversidad de Shannon-Weiner obtenido para el grupo fue de  $H' = 4.46$ , el cual es un valor de diversidad alto. En cuanto al índice de dominancia de Simpson, se obtuvo un valor alto,  $D = 0.95$ , lo cual sugiere alta abundancia de algunas especies. *Ophiopsila vittata* y *Ophiocoma echinata* agrupan el 19% de la abundancia del grupo en el arrecife. En cuanto al índice de equidad de Pielou, se obtuvo un valor alto,  $J' = 0.94$ , lo cual indica que las abundancias de las distintas especies están uniformemente distribuidas, esto se refleja en que 22 de las 27 especies del sitio tuvieron abundancias menores al 5% del total del grupo en el arrecife.

## **Complejidad estructural**

### La Perla del Golfo

El arrecife mostró un índice de rugosidad promedio (IR) de 1.64. Los valores del índice tienen rango de 1 a 3. Teóricamente el valor del índice puede alcanzar valores muy

altos, pero difícilmente alcanzan valores superiores a 3. Por lo tanto, sitios con valores entre 1 y 1.5 son poco complejos, mientras que entre 1.5 y 2 son considerados con complejidad media, valores mayores a 2 y menores a 2.5 son arquitectonicamente complejos y entre 2.5 y 3 son considerados sitios muy complejos (Alvarez-Fillip *et al.*, 2009).

La complejidad estructural está dada por la composición y variedad en la forma de crecimiento de los organismos formadores de arrecifes (Luviano, 2016). En el arrecife La Perla del Golfo se ha observado poca variedad de especies de corales. Se han registrado, hasta el momento, 13 especies del phylum Cnidaria, de las cuales únicamente tres pertenecen a la clase Anthozoa y al orden Scleractinia, los cuales son considerados como corales formadores de arrecife o corales verdaderos, también llamados hermatípicos, ya que secretan carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) en forma de calcita para formar un exoesqueleto, que es justo la estructura que delinea, principalmente, el relieve del sustrato en un arrecife coralino. En el arrecife, sólo se ha observado una especie de coral ramificante (*Porites porites*) y aunque se forman acreciones rocosas, son pocos los sitios en donde el índice de rugosidad estuvo por encima de 2 (siete sitios, 15 %) (sitios complejos).

El que sólo exista una especie de coral ramificante en el arrecife, tiene que ver con la ubicación del mismo, ya que se encuentra en una zona expuesta al oleaje y el constante abatimiento de las olas, lo cual podría estar propiciando el rompimiento de las ramificaciones e impidiendo el crecimiento de corales ramificantes. A su vez, el interperismo de las olas provoca que gran parte del año exista una gran cantidad de sedimento suspendido en la columna de agua, lo que limita el paso de energía lumínica (Carricart *et al.*, 1994) y por lo tanto las zooxantelas asociadas a los corales no realicen la fotosíntesis adecuadamente, lo que repercute en una lenta tasa de crecimiento de los corales (Fransolet, 2012) y por lo tanto, la complejidad estructural del arrecife no sea mayor.

Las especies coralinas formadoras de arrecife registradas en el sitio son: *Porites porites*, *Pseudodiploria clivosa* y *Siderastrea radians*. Siendo *P. porites* la especie más abundante en el sitio. Arrecifes con dominancia de esta especie, se han reportado con un índice de rugosidad de entre 1 – 2 (Alvarez-Fillip *et al.*, 2011), lo cual coincide con el índice de rugosidad obtenido en La Perla del Golfo.

De las tres especies, únicamente *P. porites* es de tipo ramificante y aunque sus ramificaciones son irregulares, muy cortas, gruesas y con puntas chatas (Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc, 2008), se considera la especie que más aporta a la complejidad estructural del arrecife debido a que es la especie que mayor cobertura tiene en el sitio. Álvarez-Fillip *et al.* (2011), clasificaron a esta especie en el grupo BL (ramificante y grande). Beltran y Carricart (1999), clasificó a esta especie como abundante en los arrecifes de Veracruz y Horta-Puga y Tello (2009), la catalogan como una de las especies más abundantes en las zonas de planicie, pero escasa en barlovento y sotavento en el PNSAV. Es importante mencionar que la zona donde se realizó el presente estudio sólo incluyó la planicie del arrecife La Perla del Golfo ya que la zona expuesta presentaba condiciones de oleaje y rompiente fuerte, lo que dificultaba la toma de datos.

Las especies *P. clivosa* y *S. radians* son corales de tipo masivo y de tamaño pequeño, por lo tanto, se considera que su aportación a la complejidad estructural es menor. Además, a pesar de que su observación era común, se encontraron en menor densidad y cobertura que la especie *P. porites*. *Pseudodiploria clivosa* es clasificada como una especie del grupo ML (masiva y grande) (Alvarez-Fillip *et al.*, 2011), fue reportada por Beltrán y Carricart (1999), como una especie abundante en los arrecifes de Veracruz. Sin embargo, Horta-Puga y Tella (2009), la reportan como ausente en algunos sitios del PNSAV y abundante en otros, inclusive es la segunda especie con mayor abundancia en uno de los sitios de este sistema arrecifal.

En el caso de *S. radians*, es clasificada en el grupo MS (masiva y pequeña) (Alvarez-Fillip *et al.*, 2011). Su abundancia coincide con la reportada por Beltrán y Carricart (1999), donde la clasifica como una especie común en los arrecifes de Veracruz. No así con lo reportado por Horta-Puga (2009), en el reporte final para el estado de salud del PNSAV, donde la menciona como la especie más abundante del arrecife.

La otra especie coralina que aporta a la complejidad estructural es *Millepora alcicornis*. Esta especie pertenece a la clase Hydrozoa y se le considera como un falso coral o hidrocoral (Brusca *et al.*, 2016). A pesar de que tiene un crecimiento ramificado, su morfología es distinta dependiendo del tipo de ambiente en que se encuentre. Álvarez-Fillip *et al.* (2011), clasificó a esta especie como BM (ramificante y mediana). En el arrecife La

Perla del Golfo, no se encontró en formas muy ramificadas y su densidad fue baja, por lo que se considera que su aporte a la complejidad estructural del arrecife es igualmente bajo. Su densidad en el arrecife contrasta con lo reportado por Beltrán y Carricart (1999), quienes reportaron a la especie como abundante en los arrecifes veracruzanos. Sin embargo, coincide con lo reportado por Horta-Puga (2009), donde la reportó a la especie con abundancia baja en el PNSAV.

Otro factor que aporta a la complejidad estructural es la erosión y la bioerosión del sustrato coralino. En el arrecife existen organismos como esponjas, bivalvos, poliquetos y sipuncúlidos que tienen hábitos endolíticos y que al establecerse desgastan el sustrato, este proceso de bioerosión junto con la erosión externa causada por el oleaje provoca el aflojamiento y separación de trozos de coral (Sammarco, 1996), con lo cual, se crean huecos en el sustrato coralino de distinto diámetro y profundidad, que modifican el relieve y pueden ser habitados por distintas especies. Este tipo de relieve también ha sido reportado para los arrecifes del sudeste de Florida (Netchy *et al.*, 2016). Esta bioerosión tiene un papel importante en la formación y mantenimiento del relieve y complejidad estructural de los arrecifes (Kiene y Hutchings, 1994).

En este arrecife existe variedad de moluscos de la clase Bivalvia que tienen hábitos incrustantes en las cabezas coralinas, provocando bioerosión de estos. Entre las especies de la clase Bivalvia encontradas en el arrecife, las de mayor abundancia son: *Lithophaga aristata*, *L. bisulcata*, *Acar domingensis*, *Isognomon bicolor* e *I. radians*, cuyos géneros son todos de hábitos endolíticos (Almanza *et al.*, 2003; Owada, 2007; Turgeon *et al.*, 2009). Hernández (2016), reportó una mayor abundancia de bivalvos en muestras de roca con menor densidad, lo que apoya esta afirmación. En el arrecife también fueron observados una gran cantidad de sipuncúlidos y poliquetos endolíticos.

Estudios en arrecifes de las Islas Vírgenes en el Caribe, demostraron que las tasas de bioerosión disminuyen conforme aumenta la profundidad y, a su vez, aumenta conforme aumenta la cantidad de nutrientes en el agua (Weinstein *et al.*, 2014). El arrecife La Perla del Golfo se encuentra a poca profundidad, de hecho, la profundidad máxima de donde se tomaron las mediciones para el cálculo del IR fue de 2 m. Por otra parte, el arrecife se encuentra ubicado junto a la desembocadura del río Olapa, cuyo afluente aporta nutrientes a

las aguas adyacentes. El oleaje en la zona, es fuerte, por lo tanto, se piensa que la tasa de bioerosión y erosión mecánica son altas y a su vez, su aporte en el mantenimiento de la complejidad estructural es importante.

La ausencia de estudios en los que se mida la complejidad estructural en arrecifes del Golfo de México, dificulta la comparación de la complejidad estructural del arrecife La Perla del Golfo con otros en los que las características tanto físico – químicas, como mecánicas sean similares. La relevancia de estos estudios recae en aspectos económicamente significativos, como la pesquería, ya que parte de los organismos, tanto invertebrados como peces que se utilizan en el comercio, cumplen con alguna fase de su ciclo de vida en arrecifes (Colin, 1992; Ball *et al.*, 2007; Briones-Fourzan y Lozano-Álvarez, 2007), donde la complejidad de la arquitectura arrecifal afecta directamente a la diversidad y biomasa que el arrecife puede albergar (Bruno y Bertness, 2001).

#### Puerto Morelos

Se obtuvieron datos de IR de cuatro puntos en el arrecife de Puerto Morelos, procedentes de dos fuentes bibliográficas. En la primera de ellas, se reporta un IR de 1.2 (Limonas) y 1.28 (Bonanza), ambos correspondientes a una complejidad baja. Sin embargo, es importante destacar que el estudio se llevó a cabo en zonas degradadas del arrecife, donde el cascajo, coral muerto y algas ocupaban gran parte de la superficie. En el sitio denominado Limonas, éstos sustratos (de poco aporte a la complejidad estructural) abarcaron coberturas de 6 y 20%; mientras que en Bonanza las coberturas para los mismos sustratos fueron de 17 y 33%. Las coberturas de los corales ramificantes como *Acropora palmata* y *Millepora complanata* sólo alcanzaron coberturas de 2.6 y 2.8% en Limonas y 2.2 y 1.1% en Bonanza (Gonzalez, 2016), lo que explica que el IR resultara tan bajo en estos sitios.

En el segundo estudio, el IR obtenido fue de 1.9 y 1.02, correspondientes a una complejidad estructural media y baja, respectivamente. En el primer sitio (de complejidad media) se observan esqueletos de corales hermatípicos, gorgonáceos, corales del género *Millepora*, macroalgas y diversas esponjas, contrastando con el segundo sitio (complejidad



baja), el cual se caracteriza por un relieve plano, corales muertos y fragmentos de coral que reducen el tamaño de las oquedades existentes (Luviano, 2016).

Sin embargo, las mediciones en estos estudios se tomaron en distancias de 33 m (Gonzalez, 2016) y 10 m (Luviano, 2016). El arrecife de Puerto Morelos es un arrecife de barrera, los arrecifes de barrera del Caribe tienen un crecimiento en crestas intercaladas por zonas de planicie (AGGRA, 2016) y como lo menciona Luviano (2016), existieron puntos donde, debido a la elección aleatoria de muestreo, la complejidad estructural se midió en zonas completamente planas, subestimando así, el valor real de la complejidad estructural de donde fueron obtenidos los datos de riqueza y abundancia.

Hay que señalar que la pérdida tanto de densidad coralina como de complejidad estructural en los arrecifes caribeños, se encuentra en una fase crítica. Los arrecifes caribeños han sufrido tres eventos de mortalidad masiva de corales relacionados con enfermedades y cambios abruptos en las condiciones ambientales, lo que ha repercutido en el aplastamiento de los corales y de hecho, más del 70% de ellos han sido reportados con índices de complejidad estructural entre 1 y 1.5 (complejidad baja) (Alvarez-fillip *et al.*, 2009). Por lo que haber obtenido índices de rugosidad bajos en Puerto Morelos, probablemente esta relacionado con la pérdida de cobertura de corales ramificantes que esta ocurriendo en el Mar Caribe.

#### Comparación de la diversidad de invertebrados de La Perla del Golfo y Puerto Morelos

El Golfo de México (donde se ubica el arrecife La Perla del Golfo) y el Mar Caribe, (donde se ubica el arrecife de Puerto Morelos), están conectados a través del canal de Yucatán, por el cual, la corriente de Lazo transporta gran cantidad de agua y nutrientes (Wilkinson *et al.*, 2009). A pesar de estar interconectadas, la biodiversidad es propia en cada área, lo cual queda demostrado en este trabajo. Esto debido principalmente a las características ambientales propias de cada masa de agua. En el Golfo, las aguas tienen un promedio de temperatura de entre 24 y 25°C en invierno y 28 y 28.5°C en verano, existe la presencia de surgencias y nortes y las arenas son mixtas, principalmente de limo y arcilla. Por otra parte, las aguas del Caribe tienen temperaturas más cálidas y estables, de entre 25 y 28°C durante todo el año en la superficie, son pobres en nutrientes y por lo tanto más claras que las

del Golfo y sus arenas son mixtas principalmente de carbonato de calcio (Wilkinson *et al.*, 2009).

Sólo el 13% de las especies de moluscos se comparten en los dos sitios, de ese porcentaje, el 67% son especies de la clase Gastropoda (12 especies), 13.5% son de la clase Bivalvia y el 13.5% restante (tres especies) pertenece a la clase Polyplacophora. El que las especies puedan distribuirse en estos ambientes distintos obedece a cuestiones de su biología, por ejemplo, todos los gasterópodos marinos tienen estadio larval planctónico, por lo tanto, su transporte de un sitio a otro puede ocurrir por medio de corrientes (Modica *et al.*, 2017) que conecten ambos sitios (corriente de Lazo) y algunas especies pueden tener un establecimiento más exitoso que otras en distintos hábitats. Las especies del género *Nassarius*, encontradas en ambos arrecifes, tienen un rápido desarrollo del complejo de la cavidad bucal durante su metamorfosis larvaria, desarrollando una probóscide larga, tienen un cambio rápido en su alimentación de herbívoros a carnívoros, logrando un establecimiento más exitoso del estadio juvenil que otros gasterópodos (Page, 2005). Además, este grupo de organismos puede tener hábitos carnívoros, carroñeros, herbívoros e incluso omnívoros. Géneros encontrados en ambos arrecifes como *Columbella*, pueden ser epifaunales, infaunales y encontrarse en zonas tropicales, así como en latitudes altas y mar profundo (deMaitenon, 1999). Por otra parte, bivalvos como *Lithophaga*, encontrado en ambos arrecifes, han mostrado tener cierta afinidad hacia el sustrato generado por corales del género *Porites*, también encontrado en ambos arrecifes (Scott y Risk, 1988; Owanda, 2007).

Respecto al orden Decapoda, 10 especies fueron encontradas en ambos arrecifes, 7.5% de la riqueza total en ambos arrecifes. De éstas, el 50% pertenecen a la superfamilia Majoidea, que tiene la peculiaridad de tener un desarrollo larvario abreviado, lo que denota su alto grado de especialidad, permitiendo que mayor número de larvas, comparado con otros grupos de braquiuros, consigan establecerse como juveniles (Cobo y Okamori, 2008). En la especie *Mithraculus forceps*, una de las cuatro especies del género *Mithraculus* encontradas en ambos arrecifes y la especie con mayor abundancia del orden Decapoda en La Perla del Golfo, se ha observado que variaciones en la temperatura y salinidad no afectan su fecundidad. Además, periodos largos de ayuno en la última etapa larvaria no influyen en el desarrollo y establecimiento de los juveniles, en la sincronización de la metamorfosis ni

en la duración del estado larvario, es decir, las larvas pueden permanecer largos periodos de ayuno sin que el tiempo en que permanecen en estado larvario se prolongue ni que el tamaño y establecimiento de los juveniles se vea afectado, lo que les confiere una ventaja en condiciones de estrés (Cobo y Okamori, 2008; Figueiredo, 2008).

Por otra parte, cuatro especies del phylum Echinodermata fueron encontradas en ambos arrecifes, 11% de la riqueza del phylum en ambos sitios. La especie *Amphipholis squamata* fue una de las especies encontradas en ambos arrecifes, que es considerada como una especie cosmopolita debido a su amplio rango de tolerancia de temperatura, pudiéndose encontrar desde zonas árticas y sub-árticas, hasta zonas tropicales, así como desde zonas profundas hasta áreas someras (Sponer y Roy, 2002; Geoffrey *et al.*, 2015). Presenta cuidado parental (Boisin *et al.*, 2008) y un amplio rango de alimentación, alimentándose tanto de sedimento como de algas y fragmentos animales, además, de ser una especie hemafrodita (Stöhr *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos con el índice de Sørensen, así como el cluster obtenido a partir del mismo, muestran que la composición del arrecife La Perla del Golfo es más similar a la composición de la playa rocosa de Montepío que al arrecife de Puerto Morelos, de manera general y en los grupos de equinodermos y decápodos, lo que corrobora que la similitud biológica disminuye con la distancia entre las áreas (Chavez-Hidalgo, 2009) además de que las condiciones ambientales son más similares (temperatura, sedimentos, nutrientes, luz) ya que ambos se encuentran en el Golfo de México. Sin embargo, la similitud composicional de especies no es alta, de hecho, la mayor relación es entre los equinodermos, cuyo valor del índice es de  $QS = 0.38$ . Los ofiuroides (el grupo de mayor riqueza de equinodermos en La Perla del golfo) suelen buscar refugio debajo de rocas, trozos de coral rotos y en las oquedades formadas por las irregularidades del relieve, este tipo de sitios no son los más comunes en Montepío ya que ésta es una playa de roca basáltica. El grupo de mayor riqueza en esta playa es el de los erizos, de hecho, es una playa expuesta con presencia de algas y con sustrato irregular apto para el eficiente agarre de los organismos, tipo de hábitat óptimo para este grupo (Dumas, 2006).

En cuanto a los decápodos, la mayor similitud entre Montepío y La Perla del Golfo se da en la familia Alpheidae y Porcellanidae, ambas familias son dominantes en ambientes

rocosos. Los camarones alfeidos presentan abundancias altas en ambientes coralinos; mientras que los porcelánidos presentan altas abundancias debido a sus hábitos de poca movilidad que les son útiles para adherirse a las rocas.

Con los moluscos pasa lo contrario que con los equinodermos y decápodos, existe mayor similitud composicional entre los dos arrecifes que entre La Perla del Golfo y Montepío, esto muy probablemente se deba a los hábitos horadadores de sustrato de los bivalvos. La roca basáltica es más dura que el sustrato coralino, además de que existen especies que tienen afinidad por el sustrato de ciertos corales. En Montepío se encontró menor riqueza de especies crípticas que epifaunales (Vasallos *et al.*, 2014).

#### Comparación de la complejidad estructural de La Perla del Golfo y Puerto Morelos

El índice de rugosidad en La Perla del Golfo es de 1.64, por lo tanto, fue clasificado como un arrecife con complejidad estructural media. En el arrecife de Puerto Morelos se obtuvo un índice de rugosidad de 1.39, clasificándolo como un arrecife de complejidad estructural baja. A pesar de que los arrecifes caribeños se caracterizan por tener una alta diversidad de corales y altos índices de rugosidad, los recientes eventos de blanqueamiento, causados por enfermedades o cambios en los factores ambientales, además de las actividades antropogénicas y el creciente número y fuerza de meteoros, han provocado una drástica disminución de su arquitectura, a tal nivel que arrecifes ubicados en otras zonas con condiciones ambientales menos favorables para su desarrollo, como lo es la ubicación de La Perla del Golfo, tienen IR más altos.

La especie dominante en La Perla del Golfo (*Porites porites*), es una especie en la que se ha observado mayor resistencia y resiliencia ante condiciones adversas (Álvarez-Fillip *et al.*, 2009b), ha aumentado su densidad en arrecifes caribeños ante la creciente mortalidad de especies más susceptibles (Álvarez-Fillip *et al.*, 2011). Por lo que podría esperarse que en el futuro los arrecifes caribeños sean similares, en cuanto a la arquitectura, a los que se pueden encontrar en el Golfo de México, es decir, de corales menos complejos, masivos y de tamaño pequeño a mediano, que son justo los corales que tienen mayor resistencia a condiciones de estrés ambiental (Guest *et al.*, 2012). Las especies que están aumentando su densidad en

arrecifes del Caribe mexicano ante la mortalidad de los corales de alta complejidad son las especies de los generos *Montastrea*, *Siderastrea* y *Porites* (Alvarez-Fillip *et al.*, 2009b; Yost *et al.*, 2013), el segundo y tercero son comunes en el arrecife La Perla del Golfo.

#### Comparación de la complejidad estructural y diversidad en La Perla del Golfo

En La Perla del Golfo se obtuvo un IR medio (IR= 1.64). A su vez, los índices de diversidad obtenidos en cada grupo de invertebrados analizados, nos indican una diversidad alta en dos de los grupos (moluscos y decápodos, con  $H' = 3.65$  y  $H' = 4.66$ , respetivamente) y una diversidad media ( $H' = 2.24$ ) en el caso de los equinodermos. Se ha documentado que el incremento en la complejidad estructural esta fuertemente relacionado con el incremento en la riqueza y biomasa que existe en el ecosistema, excepto en el caso de los erizos de mar, donde la relación es negativa (Graham y Nash, 2013). En el caso de moluscos y decápodos, se esperaría encontrar una menor diversidad, ya que el arrecife no es un arrecife altamente complejo, por lo que pudieran existir otros factores que permiten que la diversidad se incremente.

En el caso de los equinodermos, los resultados obtenidos concuerdan con lo documentado, inclusive en el caso de los erizos se observaron únicamente tres especies y su abundancia en conjunto sólo representó el 8% de la abundancia del phylum en el arrecife. Vale la pena recalcar que el grupo con mayor riqueza y abundancia del phylum fue el de los ofiuroides, los cuales suelen habitar debajo de rocas y en las cavidades, siendo este tipo de microhábitats comunes en La Perla del Golfo.

Respecto a los factores que pueden producir un incremento en la diversidad, tanto de moluscos como de decápodos, se ha demostrado que el oleaje y la alta cantidad de sedimento desplazado pueden tener un papel fundamental en el incremento y mantenimiento de la diversidad. Además, la cercanía a la costa causa turbidez y aumento de nutrientes (Balata *et al.*, 2007; Netchy *et al.*, 2016). El arrecife es de tipo bordeante por lo que una gran cantidad de sedimento es desplazado hacia la zona arrecifal cuando hay presencia de oleaje fuerte, ésta arena cubre las hoquedades y parte de los corales (observación personal) y así la disponibilidad de refugio disminuye y por lo tanto, también la diversidad de organismos

(Balata *et al.*, 2007), probablemente los organismos que ahí habitan se desplazan o quedan enterrados. Se ha reportado que cambios en las tasas de sedimentación influyen en la abundancia y diversidad de organismos epibénticos (Thompson *et al.*, 2017). Posterior a los disturbios, queda una mayor disponibilidad de refugios disponibles (Álvarez-Fillip *et al.*, 2009b) que son aprovechados con el reestablecimiento de las especies o el establecimiento de especies diferentes. Esto también es una posible explicación a la alta cantidad de especies raras, es decir, especies que sólo fueron observadas en uno de los muestreos.

#### Comparación de la complejidad estructural y diversidad de Puerto Morelos

El IR reportado para Puerto Morelos es 1.39, lo cual nos indica que el arrecife tiene una complejidad estructural baja, los índices de diversidad obtenidos para los invertebrados en el sitio, indican una diversidad alta en los phyla Mollusca y Echinodermata ( $H' = 4.71$  y  $H' = 4.46$ , respectivamente) y diversidad media en el orden Decapoda ( $H' = 2.84$ ).

Luviano (2016), aclara que debido a la elección aleatoria de puntos de muestreo, parte de las mediciones del IR ocurrieron en zonas totalmente planas, donde la presencia de corales era escasa, por lo tanto, es probable que la complejidad estructural de los sitios donde fueron obtenidos los organismos, esté subestimada. A pesar de la muerte masiva de corales, se ha observado que no existe un inmediato decaimiento en la diversidad de organismos que habitan estos ecosistemas, ya que la estructura coralina se mantiene tiempo después de la muerte de los pólipos. Sin embargo, con la erosión constante, esta estructura decae tiempo después y es en ese momento cuando la diversidad en el lugar se reduce (Graham y Nash, 2013). Por lo tanto, es probable que en las zonas reportadas como degradadas en Puerto Morelos (González, 2016; Luviano, 2016) ocurra una pérdida de diversidad de invertebrados que habitan en los microhábitats generados por la estructura coralina.

## Conclusiones

- En La Perla del Golfo existen cuatro especies de coral que aportan a la complejidad estructural: *Porites porites*, *Pseudodiploria clivosa*, *Siderastrea radians* y *Millepora alcicornis*.
- En Puerto Morelos los corales más representativos son *Acropora palmata* y *Millepora complanata*, además de gorgonáceos.
- Los moluscos son el grupo con mayor abundancia y riqueza de especies en La Perla del Golfo, las especies más abundantes del grupo son: *Isognomon bicolor*, *I. radiatus* y *Acar domingensis*; en el caso de los decápodos: *Mithraculus forceps* y *Petrolisthes columbensis*; y en equinodermos: *Ophiactis savignyi* y *Ophiotrhrix angulata*.
- Los decápodos fueron el grupo con mayor abundancia y riqueza de especies en Puerto Morelos, las especies más abundantes del grupo son: *Calcinus tibicen* y *Mithraculus coryphe*; en los moluscos: *Eulithidium adamsi*, *E. bellum* y *Cerithium litteratum*; y en equinodermos *Ophiopsila vittata*.
- La composición de invertebrados en los arrecifes analizados es propia de cada uno de ellos, los moluscos son el grupo en el que se observó la mayor similitud.
- La Perla del Golfo es arquitectónicamente más complejo (media) que Puerto Morelos (baja).
- La diversidad de equinodermos en La Perla del Golfo es la esperada de acuerdo a la complejidad estructural del arrecife, en el caso de moluscos y decápodos, se esperan valores menores de diversidad, las oquedades formadas en el arrecife permiten un establecimiento de especies mayor al esperado.
- La diversidad de los tres grupos de invertebrados estudiados en Puerto Morelos es mayor a la esperada de acuerdo a la complejidad estructural observada en el arrecife.

## Literatura citada

- Aguilar-Estrada, L. G., O. Deneb, U. Brian y R. Martha. 2014. Análisis histórico de los gasterópodos de la laguna arrecifal de Isla verde, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86: 602-312.
- Almanza, L., F. Bolívar, S. Borrero, I. Caiafa, K. De las Salas, M. G. Luque y J. C. Valdemar. 2003. Estudio preliminar de la comunidad macrobentónica del mesolitoral rocoso de Bahía Concha (Parque Nacional Natural Tayrona, Magdalena, Colombia) en agosto del 2002. *Acta Biológica Colombiana*, 9: 3-9.
- Alvarado, J. J. 2011. Echinoderm diversity in the Caribbean Sea. *Marine Biodiversity*, 41: 261-285.
- Álvarez, F., J. L. Villalobos, R. Robles. 1999. Listas y comentarios sobre los crustáceos decápodos de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología*, 70: 1-27.
- Alvarez-Filip, L., N. K. Dulvy, J. A. Gill, M. Côté y A. R. Watkinson. 2009. Flattening of Caribbean coral reef: región-wide declines in architectural complexity. *Proceedings of the Royal Society*, 276: 3019-3025.
- Álvarez-Filip, L., M. Millet-Encalada y H. Reyes-Bonilla. 2009b. Impact of hurricanes Emily and Wilma on the coral community of Cozumel Island, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 84: 295-306.
- Alvarez-Filip, L., N. K. Dulvy, M. Côté, A. R. Watkinson y J. A. Gill. 2011. Coral identity underpins architectural complexity on Caribbean reefs. *Ecological Applications*, 21(6): 2223-2231.
- Amozurrutia, G. S. D. 2016. Diversidad de Cnidaria (Anthozoa) de la zona rocosa intermareal de Montepío, Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 88 pp.



- Balata, D., L. Piazzini y F. Cinelli. 2007. Increase of sedimentation in a subtidal system: effects on the structure and diversity of macroalgal assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 351: 73-82.
- Ball, A. O., M. G. Beal, R. W. Chapman y G. R. Sedberry. 2007. Population structure of red porgy, *Pagrus pagrus*, in the Atlantic Ocean. *Marine Biology*, 150: 1321-1332.
- Bell, J. D. y R. Galzin. 1984. Influence of live coral cover on coral-reef fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 15: 265-274.
- Beltran-Torres, A. U. y J. Carricart-Ganivet. 1999. Lista revisada y clave para los corales pétreos zooxantelados (Hydrozoa: Milleporina; Anthozoa: Scleractinia) del Atlántico mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 47: 813-829.
- Boissin, E., J. P. Feral y A. Chenuil. 2008. Defining reproductively isolated units in a cryptic and syntopic species complex using mitochondrial and nuclear markers: the brooding brittle star, *Amphipholis squamata* (Ophiuroidea). *Molecular Ecology*, 17: 1732-1744.
- Braverman, I. 2016. Bleached!: Managing coral catastrophe. *Future*, 1-17.
- Briones-Fourzán, P. y E. Lozano-Álvarez. 2007. Coexistence of congeneric spiny lobsters on coral reefs: differences in conspecific aggregation patterns and their potential antipredator benefits. *Coral Reefs*, 27: 275-287.
- Bruno, J. F. y M. D. Bertness. 2001. Habitat modification and facilitation in benthic marine communities. *Marine Community Ecology*, 413: 201-218.
- Brusca, R. C., W. Moore y S. M. Shuster. 2016. *Invertebrates*. Tercera edición. Sinauer associates, inc., publishers. USA, 1104 pp.
- Carricart-Ganivet, J. P., G. Horta-Puga, M. A. Ruiz-Zárte y E. Ruiz-Zárte. 1994. Tasas retrospectivas de crecimiento del coral hermatípico *Montastrea annularis* (Scleractinia: Faviidae) en arrecifes al sur del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 42: 517-523.

- Cartes, E. J. 1998. Feeding strategies and partition of food resources in deep-water Decapod Crustaceans (400-2300 m). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 78: 509-524.
- Castillo-Rodríguez, Z. G. 2014. Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86: 419-430.
- Chávez-Hidalgo, A. 2009. Conectividad de los arrecifes coralinos del Golfo de México y Caribe mexicano. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. 170 pp.
- Cobo, V. J. y C. M. Okamori. 2008. Fecundity of the spider crab *Mithraculus forceps* (Decapoda, Mithracidae) from the northeastern coast of the state of São Paulo, Brazil. *Iheringia*, 98: 84-87.
- Colin, P. L. 1992. Reproduccion of the Nassau grouper, *Epinephelus striatus* (Pisces: Serranidae) and its relationship to environmental conditions. *Environmental Biology of Fishes*, 34: 357-377.
- CONABIO. (2016). Arrecifes. 13 de Octubre de 2016, de CONABIO Sitio web: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes.html>
- Coronado, C., J. Candela, R. Iglesias-Prieto, J. Sheinbaum, M. López y F. J. Ocampo-Torres. 2007. On the circulation in the Puerto Morelos fringing reef lagoon. *Coral reefs*, 26: 149 - 163.
- deMaintenon, M. J. 1999. Phylogenetic analysis of the Collumbellidae (Mollusca: Neogastropoda) and the evolution of herbivory from carnivory. *Invertebrate Biology*, 118: 258-288.
- Dumas, P., M. Kulbicki, S. Chifflet, R. Fichez y J. Ferraris. 2006. Environmental factors influencing urchin spatial distributions on disturbed coral reefs (New Caledonia, South Pacific). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 344: 88-100.
- Durán-González, A., A. Laguarda-Figueras, F. A. Solís-Marin, B. E. Buitrón, C. Gust y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 53: 53-68.

- Ekman, S. 1967. *Zoogeography of the sea*. Sidwick and Jackson LTD., Londres.
- Estrada, O. J. 1999. Riqueza específica y abundancia de la macrofauna bentónica asociada a pastizales marinos en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 67 pp.
- Figueiredo, J., G. Penha-Lopes, L. Narciso y J. Lin. 2008. Effect of starvation during late megalopa stage of *Mithraculus forceps* (Brachyura: Majidae) on larval duration, synchronism of metamorphosis, survival to juvenile, and newly metamorphosed juvenile size. *Aquaculture*, 274: 175-180.
- Fransolet, D., S. Roberty y J. C. Plumier, 2012. Establishment of endosymbiosis: The case of cnidarians and *Symbiodinium*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 421: 1-7.
- Friedlander, A. M. y J. D. Parrish, 1998. Habitat characteristics affecting fish assemblages on a Hawaiian coral reef. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 224: 1-30.
- Foxton, P. y H. S. J. Roe. 1974. Observations on the nocturnal feeding of some mesopelagic decapod crustacea. *Marine Biology*, 28: 37-49.
- García-Cubas, A. y R. Martha. 1995. Moluscos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: sistemática y ecología. *Hidrobiológica*, 5: 1-24.
- García-Cubas, A. y R. Martha. 2004. *Catálogo ilustrado de moluscos gasterópodos del Golfo de México y Mar Caribe*. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 165 pp.
- García, G. S. 2013. Desarrollo de un índice de estructura arrecifal como propuesta de herramienta de manejo. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 89 pp.
- Gattuso, J., B. Gentili y C. M. Duarte. 2006. Light availability in the coastal ocean: impact on the distribution of benthic photosynthetic organisms and their contribution to primary production. *Biogeoscience*, 3: 489-513.

- Geoffrey, J. B., A. J. Reichelt-Brushett y M. W. Clark. 2008. The effect of copper and temperature on juveniles of the eurybathic brittle star *Amphipholis squamata* – Exploring responses related to motility and the water vascular system. *Chemosphere*, 124: 32-39.
- González, M. M. 2014. Análisis del ensamblaje de Equinodermos (Echinodermata) de los Arrecifes Isla Sacrificios y Rizo, del PNSAV en Veracruz, México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 62 pp.
- González G. R. 2016. Diversidad y abundancia de crustáceos decápodos en arrecifes con diferente nivel de degradación. Unidad académica de sistemas arrecifales Puerto Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México, 47 pp.
- González-Medina F. J., O. E. Holguín-Quiñones, G. De la Cruz-Agüero. 2006. Variación espaciotemporal de algunos macroinvertebrados (Gastropoda, Bivalvia y Echinodermata) de fondos someros del Archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 32: 33-44.
- Graham, N. A. J., S. K. Wilson, M. S. Pratchett, N. V. C. Polunin, Spalding y M. D. 2009. Coral mortality versus structural collapse as drivers of corallivorous butterflyfish decline. *Biodiversity and conservation*, 18: 3325-3336.
- Graham N. A. J. y K. L. Nash. 2013. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs*, 32: 315-326.
- Guest, J. R., A. H. Baird, J. A. Maynard, E. Muttaqin, A. J. Edwards, S. J. Campbell, K. Yewdall, Y. A. Affendi y L. M. Chou. 2012. Contrasting patterns of coral bleaching susceptibility in 2010 suggest an adaptive response to thermal stress. *PLoS ONE*, 7: 1-8.
- Hermoso-Salazar A. M. y K. Arvizu-Coyotzi. 2007. Los estomatópodos y decápodos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, 101-112 en A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas y J.M. Vargas Hernández (Eds.) Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche. 304 p.

- Hernández, A. M. C. 2009. Estructura de la comunidad carcinológica y reclutamiento en sustrato duro, en Veracruz, México. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, 105 pp.
- Hernández, C., F. Alvarez y J. L. Villalobos. 2010. Crustáceos asociados a sustrato duro en la zona intermareal de Montepío, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 141-151.
- Hernández, J. R. 2015. Estudio faunístico de los moluscos de la Perla del Golfo, Veracruz, México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 89 pp.
- Horta-Puga, G. y J. L. Tello Musi. 2009. Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: primera etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala.
- Kiene, W. E. y P. A. Hutchings. 1994. Bioerosion experiments at Lizard Island, Great Barrier reef. *Coral Reefs*, 13: 91-98.
- Kuanui, P., C. Suchana, V. Viyakarn, M. Omori y C. Lin. 2015. Effects of Temperature and Salinity on Survival Rate of Cultured Corals and Photosynthetic Efficiency of Zooxanthellae in Coral Tissues. *Ocean Science Journal*, 50(2): 263-268.
- Krömer, T. 2013. Effects of altitude and climate in determining elevational plant species richness patterns: A case study from Los Tuxtlas, Mexico. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 208: 197-210.
- Labbé-Bellas, R., A. M. M. Cesar, R. F. Sergio y S. Bárbara. 2016. Sea urchin abundance and habitat relationships in different Brazilian reefs types. *Regional Studies in Marine Science*, 8: 33-40.
- Laguarda-Figueras, A., M. Abreu, J. Torres-Vega, F. A. Solís Marín y A. Dúran. 2004. Ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) del Caribe Mexicano: Puerto Moreos, Quintana Roo, México. *Avicennia*, 17: 13-34.
- Landa-Jaime, V., E. Michel-Morfin, J. Arciniega-Flores, S. Castillo-Vargasmachuca y M. Saucedo-Lozano. 2013. Moluscos asociados al arrecife de Tenacatita, Jalisco, en el Pacífico central mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 1121-1136.

- López-Rivas, C. E. 2000. Malacofauna asociada a corales en el sur de Nayarit. Biología de sistemas y recursos acuáticos. Universidad Nacional Autónoma de México. 82 pp.
- López, C. C. 2017. Diversidad del Phylum Echinodermata en el arrecife de cora "Perla del Golfo", Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 74 pp.
- Luckhurst B.E. y K. Luckhurst. 1978. Analysis of the influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology*, 49: 317-323.
- Luviano A. N. 2016. Influencia de la complejidad estructural del habitat en la dieta y nivel trófico de *Panulirus guttatus* en el arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo. Unidad académica de sistemas arrecifales Puerto Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México, 54 pp.
- Modica, M. V., V. Russini, G. Fassio y M. Oliverio. 2017. Do larval types affect genetic connectivity at sea? Testing hypothesis in two sibling marine gastropods with contrasting larval development. *Marine Environmental Research*, 127: 92-101.
- Netchy, K., P. Hallock, K. S. Lunz y K. L. Daly. 2016. Epibenthic mobile invertebrate diversity organized by coral habitat in Florida. *Marine Biodiversity*, 46: 451-463.
- Owanda, M. 2007. Functional morphology and phylogeny of the rock-boring bivalves *Leiosolenus* and *Lithophaga* (Bivalvia: Mytilidae): a third functional clade. *Marine Biology*, 150: 853-860.
- Page, L. R. 2005. Development of foregut and proboscis in the Buccinid Neogastropod *Nassarius mendicus*: Evolutionary opportunity exploited by a developmental module. *Journal of Morphology*, 264: 327-338.
- Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc. 2008. Programa de monitoreo del Coral de Dedo (*Porites porites*) en el Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en internet desde: <http://www.conanp.gob.mx/acciones/fichas/nizuc/info/info.pdf>

- Pascal, N., M. Allenbach, A. Brathwaite, L. Burke, G. Le Port y E. Clua. 2016. Economic valuation of coral reef ecosystem service of coastal protection: A pragmatic approach. *Ecosystem Services*, 21: 72-80.
- Platt, P. 2009. How much are coral ecosystems worth? Try \$172 billion--A year. 13 de Octubre de 2016, de Scientific American. Sitio web: <https://blogs.scientificamerican.com/observations/how-much-are-coral-ecosystems-worth-try-172-billion-a-year/>.
- Prieto, A. A., L. J. Ruiz y N. García. 2005. Diversidad y abundancia de la epifauna en la comunidad sublitoral de Punta Patilla, Venezuela. *Revista de Biología tropical*, 53: 135-140.
- Raz-Guzmán, A. y A. J. Sánchez. 1992. Registros adicionales de cangrejos braquiuros (Crustaea: Brachyura) de la laguna de Términos, Campeche. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología*, 63: 29-45.
- Reyes-Bonilla, H. y E. Jordán-Dahlgren. 2017. Caribbean coral reefs: Past, present, and insights into the future, Pp. 31-72 en Rossi, S., L. Bramanti, A. Gori y C. Orejas, Marine Animal Forest, The Ecology of Benthic Biodiversity Hotspots. Springer International Publishing, 1369 pp.
- Risk, M. 1972. Fish diversity on a coral reef in the Virgin Islands. *Atoll Research Bulletin*, 153: 1-6.
- Sammarco, P. W. 1996. Comments on coral reef regeneration, bioerosion, biogeography, and chemical ecology: future directions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 200: 135-168.
- Scott, P. J. B. y M. J. Risk. 1988. The effect of *Lithophaga* (Bivalvia: Mytilidae) boreholes on the strength of the coral *Porites lobate*. *Coral Reefs*, 7: 145-151.
- Spalding, M.D., C. Ravilious, y E.P. Green. 2001. *World atlas coral reef*. UNEP/WCMC, University of California Press, 421 pp.
- Sheppard, C.R., S.K. Davy y G.M. Pilling. 2012. *The biology of coral reefs*. Primera edición. Oxford University Press. UK, 339 pp.

- Solís-Marín, F. A. y E. Mata-Pérez. 1999. Manual del curso-taller “Taxonomía de Equinodermos”. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 78 pp.
- Sponer, R y M. S. Roy. 2002. Phylogeographic analysis of the brooding brittle star *Amphipholis squamata* (Echinodermata) along the coast of New Zeland reveals high cryptic genetic variation and cryptic dispersal potential. *Evolution*, 56: 1954-1967.
- Stöhr, S., T. D. O’Hara y B. Thuy. 2012. Global diversity of brittle star (Echinodermata: Ophiuroidea). *PLoS ONE*, 7: 1-14.
- Thompson, C. E. L., B. Silburn, M. E. Williams, T. Hull, D. Sivyver, L. O. Amoudry, S. Widdicombre, J. Ingles, G. Carnovale, C. L. McNeill, R. Hale, C. Laguionie-Marchais, N. Hicks, H. E. K. Smith, J. K. Klar, J. G. Hiddink, J. Kowalik, V. Kitidis, S. Reynolds, E. M. S. Woodward, K. Tait, W. B. Homoky, S. Kroger, S. Bolam, J. A. Godbold, J. Aldridge, D. J. Mayor, N. M. A. Benoist, B. J. Bett, K. J. Morris, E. R. Parker, H. A. Ruhl, P. J. Statham y M. Solan. 2017. An approach for the identification of exemplar sites for scaling up targeted diel observations of benthic biogeochemistry in heterogeneous environments. *Biogeochemistry*, 135: 1-34.
- Turgeon, D. D., W. Lyons, P. M. Mikkelsen y F. Moretzsohn. 2009. Bivalvia (Mollusca) of the Gulf of Mexico, Pp. 711-744 en Felder, D. L. y D. K. Camp, Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota. Biodiversity. Texas A&M University Press, College Station, Texas.
- Vassallo A. A. 2014. Inventario faunístico de los Cnidarios (Anthozoa y Scyphozoa) de la Mancha, Veracruz. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 86 pp.
- Vasallo, A., Y. Davila, N. Luviano, S. Daneb-Amozurrutia, X. G. Vital, C. A. Conejeros, L. Vázquez y F. Alvarez. 2014. Inventario de invertebrados de la zona rocosa intermareal de Montepío, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 349-362.



- Vicencio, de la C. F. 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y nectónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. Universidad Veracruzana, 97 pp.
- Vytopil E. y B. Willis. 2001. Epifaunal community structure in *Acropora spp.* (Scleractinia) on the Great Barrier Reef: implications of coral morphology and habitat complexity. *Coral Reefs*, 20: 281-288.
- Wakefield, T.S. y M.A. Kempf. 2001. Development of host and symbiont specific monoclonal antibodies and confirmation of the origin of the symbiosome membrane in a cnidarian dinoflagellate symbiosis. *Biological Bulletin*, 200: 127-143.
- Weinstein, D. K., T. B. Smith y J. S. Klaus. 2014. Mesophotic bioerosion: Variability and structural impact on U.S. Virgin Island deep reefs. *Geomorphology*, 222: 14-24.
- Wilkinson T., E. Wiken, J. Bezaury Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla. 2009. *Ecorregiones marinas de América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 200 pp.
- Wilson, S. K., N. A. J. Graham, y N. V. C. Poulinin. Appraisal of visual assessments of habitat complexity and benthic composition on coral reefs. *Marine Biology*, 151: 1069-1076.
- Yost, D. M., L. Wangb, T. Y. Fanb, C. S. Chenb, R. W. Leef, E. Sogina y D. R. Gates. 2013. Diversity in skeletal architecture influences biological heterogeneity and *Symbiodinium* habitat in corals. *Zoology*, 116: 262- 269.
- Zupi, V. y E. Fresi. 1985. A study on the food web of the *Posidonia oceanica* (L.) Delile ecosystem: analysis of the gut contents of decapod Crustaceans. *Rapport Commission Internationale pour la Mer Méditerranée*, 29: 189-192.

## ANEXOS

### Anexo 1. Listado taxonómico de los invertebrados encontrados en el arrecife La Perla del Golfo, Veracruz.

---

#### Phylum Cnidaria

---

##### Familia Sphenopidae

Género *Palythoa* Lamouroux, 1816

*Palythoa caribaeorum* (Duchassaing y Michelotti, 1860)

Género *Protopalythoa* Verrill, 1900

*Protopalythoa variabilis* (Duerden, 1898)

##### Familia Zoanthidae

Género *Zoanthus* Lamarck, 1801

*Zoanthus sociatus* (Ellis, 1878)

*Zoanthus pulchellus* (Duchassaing y Michelotti, 1864)

##### Familia Poritidae

Género *Porites* Link, 1807

*Porites porites* (Pallas, 1766)

##### Familia Mussidae

Género *Pseudodiploria* Fukami, Budd y Knowlton, 2012

*Pseudodiploria clivosa* (Ellis y Solander, 1786)

##### Familia Siderastreidae

Género *Siderastrea* Blainville, 1830

*Siderastrea radians* (Pallas, 1766)

##### Familia Actiniidae

Género *Actinostella*

*Actinostella flosculifera* (Le sueur, 1817)

##### Familia Phymanthidae

Género *Phymathus* Milne Edwards y Haime, 1851

*Phymathus crucifer* (Le Sueur, 1817)

##### Familia Stichodactylidae

Género *Stichodactyla*

*Stichodactyla helianthus* (Ellis, 1768)

Anemona morfotipo 1

##### Familia Milleporidae

Género *Millepora* Linnaeus, 1758

*Millepora alcicornis* (Linnaeus, 1758)

##### Familia Pandeidae

Género *Leuckartiara* Hartlaub, 1914

*Leuckartiara octona* (Fleming, 1823)

---

---

Phylum Mollusca

---

- Familia Lottiidae  
Género *Lottia* Gray, 1833  
*Lottia leucopleura* (Gmelin, 1791)
- Familia Fissurellidae  
Género *Diodora* Gray, 1821  
*Diodora cayenensis* (Lamarck, 1822)  
*Diodora minuta* (Lamarck, 1822)  
*Diodora sayi* (Dali, 1899)  
*Diodora dysoni* (Reeve, 1850)  
*Diodora listeri* (d'Orbigny, 1857)
- Familia Fissurellidae  
Género *Lucapinella* Pilsbry, 1890  
*Lucapinella limatula* (Reeve, 1850)  
Género *Fisurella* Bruguière, 1789  
*Fisurella angusta* (Gmelin, 1791)
- Familia Turbinidae  
Género *Lithopoma* Gray, 1850  
*Lithopoma recta americana* (Lightfoot, 1786)
- Familia Rissoinidae  
Género *Rissoina* d'Orbigny, 1840  
*Rissonia pulchra* (C.B. Adams, 1850)  
*Rissonia princeps* (C.B. Adams, 1850)  
Género *Schwartziella* G. Nevill, 1881  
*Schwartziella bryerea* (Montagu, 1803)  
*Schwartziella fisheri* (Desjardin, 1949)  
Género *Stocia* Brusina, 1870  
*Stocia aberrans* (C.B. Adams, 1850)
- Familia Caecidae  
Género *Caecum* Fleming, 1813  
*Caecum* sp.
- Familia Vermetidae  
Género *Petalococonchus* H. C. Lea, 1843  
*Petalococonchus* sp.  
Género *Serpulorbis* Sassi, 1827  
*Serpulorbis decussatus* (Gmelin, 1791)
- Familia Cerithidae  
Género *Cerithium* Bruguière, 1789  
*Cerithium litteratum* (Born, 1778)  
*Cerithium atratum* (Born, 1778)
- Familia Lithiopidae  
Género *Alaba* H. Adams y A. Adams, 1853  
*Alaba incerta* (d'Orbigny, 1841)
- Familia Modulidae  
Género *Modulus* Gray, 1852  
*Modulus modiolus* (Linnaeus, 1758)

Familia Turritellidae  
 Género *Vermicularia* Lamarck, 1799  
*Vermicularia spirata* (Philippi, 1836)

Familia Eulimidae  
 Género *Vitreolina* Monterosato, 1884  
*Vitreolina* sp.

Familia Cerithiopsidae  
 Género *Cerithiopsis* Forbes y Hanley, 1850  
*Cerithiopsis lata* (C. B. Adams, 1850)  
 Género *Seila* A. Adams, 1861  
*Seila adamsi* (H. C. Lea, 1845)

Familia Triphoridae  
 Género *Triphora* Blainville, 1828  
*Triphora* sp.

Familia Epitonium  
 Género *Epitonium* Roding, 1798  
*Epitonium* sp.

Familia Buccinidae  
 Género *Bailya* M. Smith, 1944  
*Bailya parva* (C. B. Adams, 1850)  
 Género *Engina* Gray, 1839  
*Engina turbinella* (Kiener, 1835)  
 Género *Gemophos* Olsson y Harbison, 1953  
*Gemophos tinctus* (Conrad, 1846)  
 Género *Pollia* Gray, 1834  
*Pollia* sp.

Familia Columbelloidea  
 Género *Columbella* Lamarck, 1799  
*Columbella mercatoria* (Linnaeus, 1758)  
 Género *Costoanachis* Sacco, 1890  
*Costoanachis sparsa* (Reeve, 1859)  
 Género *Nitidella* Swainson, 1840  
*Nitidella nitida* (Lamarck, 1822)  
 Género *Zafrona* Iredale, 1916  
*Zafrona idalina* (Duclos, 1840)

Familia Fasciolaridae  
 Género *Leucozonia* Gray, 1847  
*Leucozonia nassa* (Gmelin, 1791)

Familia Nassariidae  
 Género *Nassarius* Dumeril, 1806  
*Nassarius antillarum* (d'Orbigny, 1847)

Familia Muricidae  
 Género *Trachypollia* Woodring, 1928  
*Trachypollia nodulosa* (C.B. Adams, 1845)  
 Género *Stramonita* Schumacher, 1817  
*Stramonita rustica* (Lamarck, 1822)  
 Género *Coralliophila* H. Adams y A. Adams, 1853  
*Coralliophila aberrans* (C. B. Adams, 1850)

Familia Mitridae  
 Género *Mitra* Lamarck, 1798  
*Mitra nodulosa* (Gmelin, 1791)

Familia Pseudomelatomidae  
 Género *Pilsbryspira* Bartsch, 1950  
*Pilsbryspira leucocyma* (Dali, 1884)

Género *Daphnella* Hinds, 1844  
*Daphnella lymneiformis* (Kiener, 1840)

Familia Pyramidellidae  
 Género *Triptychus* Morch, 1875  
*Triptychus niveus* (Morch, 1875)

Género *Turbonilla* Risso, 1826  
*Turbonilla* sp. 1  
*Turbonilla* sp. 2

Familia Bullidae  
 Género *Bulla* Rafinesque, 1815  
*Bulla* sp.

Familia Cylindrobullidae  
 Género *Cylindrobulla* P. Fischer, 1857  
*Cylindrobulla beauli* (P Fischer, 1857)

Familia Arcidae  
 Género *Arca* Linnaeus, 1758  
*Arca imbricaria* (Bruguière, 1789)

Género *Acar* Gray, 1842  
*Acar dominguensis* (Lamarck, 1819)

Género *Flugeria* Reinhart, 1937  
*Flugeria tenera* (C. B. Adams, 1845)

Género *Cucullaearca* Conrad, 1865  
*Cucullaearca candida* (Helbling, 1779)

Género *Arcopsis* Von Koenen, 1885  
*Arcopsis adamsi* (Dali, 1886)

Familia Mytilacea  
 Género *Lithophaga* Róding, 1798  
*Lithophaga aristata* (Dilwyn, 1817)  
*Lithophaga bisulcata* (Orbigny, 1842)

Género *Gregariella* Monterosato, 1884  
*Gregariella coralliophaga* (Gmelin, 1791)

Género *Botula* Morch, 1853  
*Botula fusca* (Gmelin, 1791)

Familia Isognomonidae  
 Género *Isognomon* Lightfoot, 1786  
*Isognomon bicolor* (C. B. Adams, 1845)  
*Isognomon radiatus* (Anton, 1839)

Familia Malleidae  
 Género *Malleus* Lamarck, 1799  
*Malleus candeanus* (d'Orbigny, 1842)

Familia Pododesmus  
 Género *Pododesmus* Philippi, 1837

*Pododesmus rudis* (Broderip, 1834)

Familia Limidae  
 Género *Limaria* Rafinesque, 1815  
*Limaria pellucida* (C. B. Adams, 1845)

Familia Chamidae  
 Género *Chama* Linnaeus, 1758  
*Chama macerophyla* (Gmelin, 1791)  
*Chama congregata* (Conrad, 1833)  
*Chama florida* (Lamarck, 1819)

Familia Cardioidae  
 Género *Papyridea* Swainson, 1840  
*Papyridea semisulcata* (Gray, 1825)

Familia Galeommatidae  
 Género *Cymatioa* Berry, 1964  
*Cymatioa sp.*

Familia Tellinidae  
 Género *Strigilla* Turton, 1822  
*Strigilla sp.*

Familia Semelidae  
 Género *Semele* Schumacher, 1817  
*Semele proficua* (Pulteney, 1799)  
 Género *Cumingia* Sowerby, 1833  
*Cumingia coarctata* (Sowerby, 1833)

Familia Trapezidae  
 Género *Coralliophaga* Blanville, 1824  
*Coralliophaga coralliophaga* (Gmelin, 1791)

Familia Unulinidae  
 Género *Phlyctiderma* Dali, 1899  
*Phlyctiderma semiasperum* (Philippi, 1836)

Familia Lyonsiidae  
 Género *Entodesma* Philippi, 1845  
*Entodesma beana* (d'Orbigny, 1853)

Familia Veneridae  
 Género *Timoclea* T. Brown, 1827  
*Timoclea grus* (Holmes, 1858)  
 Género *Choristodon* Jonas, 1844  
*Choristodon robustus* (Sowerby, 1834)

Familia Myidae  
 Género *Sphenia* Turton, 1822  
*Sphenia fragilis* (H. Adams y A. Adams, 1854)

Familia Gastrochaenidae  
 Género *Gastrochaena* Spengier, 1783  
*Gastrochaena ovata* (Sowerby, 1834)  
*Gastrochaena hians* (Gmalin, 1791)  
 Género *Spengleria* Spengle, 1783  
*Sprngleria rostrata* (Spengler, 1783)

Familia Acanthochitonidae  
 Género *Acanthochitona* Gray, 1821

- Acanthochitona* sp.  
Familia Chaetopleuridae  
Género *Chaetopleura* Shuttleworth, 1853  
*Chaetopleura (Chaetopleura) apiculata* (Say, 1834)  
Familia Lepidochitonidae  
Género *Lepidochitona*  
Subgénero *Lepidochitona* Gray, 1821  
*Lepidochitona (Lepidochitona) rosea* (Kaas, 1972)  
*Lepidochitona (Lepidochitona) liozonis* (Dali y Simpson, 1901)  
Familia Ischnochitonidae  
Género *Ischnochiton* Gray, 1847  
Subgénero *Ischnochiton* Gray, 1847  
*Ischnochiton (Ischnochiton) striolatus* (Gray, 1821)  
*Ischnochiton (Ischnochiton) erythronotus* (C. B. A.dams, 1845)
- Familia Rhabdidae  
Género *Rhabdus* Pilsbry y Sharp, 1897  
*Rhabdus* sp.
- 

---

Orden Decapoda

---

Phylum Arthropoda

Subphylum Crustacea

Familia Alpheidae

- Género *Alpheus* Fabricius, 1798  
*Alpheus amblyonyx* (Chace, 1972)  
*Alpheus bahamensis* (Rankin, 1898)  
*Alpheus bouvieri* (A. Milne-Edwards, 1878)  
*Alpheus cristulifrons* (Rathbun, 1900)  
*Alpheus floridanus* (Kingsley, 1878)  
*Alpheus formosus* (Gibbes, 1850)  
*Alpheus minus* (Say, 1818)  
*Alpheus normanni* (Kingsley, 1878)  
*Alpheus nuttingi* (Schmitt, 1924)  
*Alpheus paracrinitus* (Miers, 1881)  
*Alpheus peasei* (Armstrong, 1940)  
*Alpheus viridari* (Armstrong, 1949)  
*Alpheus* sp. 1  
*Alpheus* sp. 2  
*Alpheus* sp. 3  
*Alpheus* sp. 4  
Género *Synalpheus* Bate, 1888  
*Synalpheus anasimus* (Chace, 1972)  
*Synalpheus brooksi* (Coutière, 1909)  
*Synalpheus dominicensis* (Armstrong, 1949)

- Synalpheus fritzmuelleri* (Coutière, 1909)  
*Synalpheus hemphilli* (Coutière, 1909)  
*Synalpheus scaphoceris* (Coutière, 1910)  
*Synalpheus* sp. 1  
*Synalpheus* sp. 2  
*Synalpheus* sp. 3  
*Synalpheus townsendi* (Coutière, 1909)  
Género *Automate* de Man, 1888  
*Automate gardineri* (Coutière, 1902)
- Familia Panopeidae
- Género *Eurypanopeus* A. Milne-Edwards, 1880  
*Eurypanopeus abbreviatus* (Stimpson, 1860)  
Género *Panopeus* H. Milne-Edwards, 1834  
*Acantholobulus bermudensis* (Benedict y Rathbun, 1891)
- Familia Xanthidae
- Género *Williamstimpsonia* Stimpson, 1859  
*Williamstimpsonia denticulatus* (White, 1848)  
Género *Microcassiope* Guinot, 1967  
*Microcassiope granulimanus* (Stimpson, 1871)  
*Garthiope spinipes* (A. Milne-Edwards, 1880)  
Género *Paraliomera* Rathbun, 1930  
*Paraliomera dispar* (Stimpson, 1871)  
Género *Platypodiella* Guinot, 1967  
*Platypodiella spectabilis* (Herbst, 1794)
- Familia Pseudorhombilidae
- Género *Mircropanope* Stimpson, 1871  
*Mircropanope nuttingi* (Rathbun, 1898)  
*Mircropanope sculptipes* (Stimpson, 1871)  
*Mircropanope* sp.  
*Panoplax depressa* (Stimpson, 1871)
- Familia Dairidae
- Género *Daira* De Haan, 1833  
*Daira* sp
- Familia Pilumnidae
- Género *Pilumnus* Leach, 1816  
*Pilumnus dasypodus* (Kingsley, 1879)
- Familia Domeciidae
- Género *Domecia* Eydoux & Souleyet, 1842  
*Domecia acanthophora* (Desbonne in Desbonne & Schramm, 1867)
- Familia Leucosioidea
- Género *Uhlia* Stimpson, 1871  
*Uhlias limbatus* (Stimpson, 1871)
- Familia Eriphiidae
- Género *Eriphia* Latreille, 1817  
*Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781)
- Familia Mithracidae
- Género *Omalacantha* H. Milne-Edwards, 1851  
*Omalacantha antillensis* (Rathbun, 1920)  
Género *Mithraculus* White, 1847  
*Mithraculus coryphe* (Herbst, 1801)



*Mithraculus forceps* (A. Milne-Edwards, 1875)

*Mithraculus ruber* (Stimpson, 1871)

*Mithraculus sculpus* (Lamarck, 1818)

Familia Epialtidae

Género *Epialtus* H. Milne Edwards, 1834

*Epialtus dilatatus* (A. Milne-Edwards, 1878)

Familia Grapsidae

Género *Pachygrapsus* Randall, 1840

*Pachygrapsus transversus* (Gibbes, 1850)

Familia Porcellanidae

Género *Neopisosoma* Haig, 1960

*Neopisosoma angustifrons* (Benedict, 1901)

*Neopisosoma curacaoense*

Género *Pachycheles* Stimpson, 1858

*Pachycheles ruginamus* (A. Milne-Edwards, 1880)

*Pachycheles monilifer* (Dana, 1852)

Género *Petrolisthes* Stimpson, 1858

*Petrolisthes galathinus* (Bosc, 1802)

*Petrolisthes jugosus* Streets, 1872

*Petrolisthes rosarensis*

*Petrolisthes bolivariensis*

*Petrolisthes columbensis*

*Petrolisthes sp1*

*Petrolisthes sp2*

---

Phylum Echinodermata

---

Familia Ophidiasteridae

Género *Linckia* Nardo, 1834

*Linckia guildingii* (Gray, 1840)

Género *Echinaster*

*Echinaster serpentarius* (A. H. Clark, 1950)

Familia Ophiocomidae

Género *Ophiocoma* Agassiz, 1836

*Ophiocoma paucigranulata* (Devaney, 1974)

Familia Ophionereididae

Género *Ophionereis* Lütken, 1859

*Ophionereis reticulata* (Say, 1825)

Familia Ophiactidae

Género *Ophiactis* Lütken, 1856

*Ophiactis savignyi* (Müller y Troschel, 1842)

Familia Amphiuridae

Género *Amphiura* Forbes, 1843

*Amphiura stimpsonii* (Lütken, 1859)

Género *Amphipholis* Ljungman, 1866

*Amphipholis squamata* (Delle Chiaje, 1828)

Familia Ophiothrichidae

Género *Ophiothrix* (Müller y Troschel, 1842)

*Ophiothrix angulata* (Say, 1825)

Familia Toxopneustidae

Género *Tripneustes* Agassiz, 1841

*Tripneustes ventricosus* (Lamarck, 1816)

Familia Cidaridae

Género *Eucidaris* Pomel, 1883

*Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816)

Familia Echinometridae

Género *Echinometra* Gray, 1825

*Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1816)

Familia Sclerodactylidae

Género *Pseudothyone* Panning 1949

*Pseudothyone belli* (Luwdig, 1886)

Familia Holothuriidae

Género *Holothuria* Linnaeus, 1767

*Holothuria (Halodeima) grisea* (Selenka, 1867)

---

**Anexo 2.** Listado de especies y abundancia respectiva de los invertebrados encontrados en ambos arrecifes.

Phylum Cnidaria

	La Perla del Golfo	Puerto Morelos
<i>Zoanthus sociatus</i>	x	
<i>Zoanthus pulchellus</i>	x	
<i>Protopalyythoa variabilis</i>	x	
<i>Palythoa caribaeorum</i>	x	
<i>Actinostella flosculifera</i>	x	
<i>Phymanthus crucifer</i>	x	
<i>Stichodactyla helianthus</i>	x	
Anemona morfotipo 1	x	
<i>Acropora palmata</i>		x
<i>Acropora cervicornis</i>		x
<i>Agaricia tenuifolia</i>		x
<i>Pseudodiploria clivosa</i>	x	x
<i>Diploria strigosa</i>		x
<i>Orbicella faveolata</i>		x
<i>Montastraea annularis</i>		x
<i>Siderastrea radians</i>	x	
<i>Porites astreoides</i>		x
<i>Porites porites</i>	x	
<i>Gorgonia flabellum</i>		x
<i>Gorgonia ventalina</i>		x
<i>Muricea laxa</i>		x
<i>Muricea elongata</i>		x
<i>Muriceopsis flavida</i>		x
<i>Eunicea fusca</i>		x
<i>Eunicea succinea</i>		x
<i>Briareum asbestinum</i>		x
<i>Millepora alcicornis</i>	x	
<i>Millepora complanata</i>		x
<i>Leuckartiara octona</i>	x	

## Phylum Mollusca

	La Perla del Golfo	Puerto Morelos
<i>Lottia leucopleura</i>	59	0
<i>Diodora cayenensis</i>	8	0
<b><i>Diodora minuta</i></b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<i>Diodora sayi</i>	1	0
<b><i>Diodora dysoni</i></b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<i>Diodora listeri</i>	1	0
<i>Diodora variegata</i>	0	1
<i>Lucapinella limatula</i>	2	0
<b><i>Fisurella angusta</i></b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Lithopoma tecta americana</i>	14	0
<i>Rissonia pulchra</i>	0	0
<i>Rissonia princeps</i>	1	0
<i>Rissoina cancellata</i>	0	1
<i>Rissoina elegantissima</i>	0	1
<b><i>Schawartziella bryerea</i></b>	<b>7</b>	<b>5</b>
<i>Schawartziella fisheri</i>	2	0
<i>Schawartziella sp.</i>	0	2
<b><i>Stosicia aberrans</i></b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<i>Caecum sp.</i>	3	0
<i>Petalococonchus sp.</i>	0	0
<i>Serpulorbis decussatus</i>	2	0
<b><i>Cerithium litteratum</i></b>	<b>1</b>	<b>27</b>
<b><i>Cerithium atratum</i></b>	<b>1</b>	<b>13</b>
<i>Cerithium eburneum</i>	0	10
<i>Alaba incerta</i>	7	0
<i>Modulus modulus</i>	2	0
<i>Vermicularia spirata</i>	2	0
<i>Vitreolina sp.</i>	2	0
<b><i>Cerithiopsis lata</i></b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Cerithiopsis sp.</i>	0	2
<b><i>Seila adamsi</i></b>	<b>2</b>	<b>6</b>
<i>Triphora sp.</i>	1	0
<i>Epitonium sp.</i>	2	0
<i>Bailya parva</i>	2	0
<i>Engina turbinella</i>	3	0
<i>Gemophos tinctus</i>	2	0
<i>Pollia sp.</i>	8	0
<b><i>Columbella mercatoria</i></b>	<b>4</b>	<b>9</b>
<i>Costoanachis sparsa</i>	8	0
<i>Nitidella nitida</i>	1	0

<i>Zafrona idalina</i>	1	0
<i>Leucozonia nassa</i>	3	0
<b><i>Nassarius antillarum</i></b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Nassarius albus</i>	0	2
<i>Trachypollia nodulosa</i>	27	0
<i>Stramonita rustica</i>	7	0
<i>Coralliphila aberrans</i>	4	0
<i>Mitra nodulosa</i>	1	0
<i>Pilsbryspira leucocyma</i>	3	0
<i>Daphnella lymneiformis</i>	1	0
<b><i>Triptychus niveus</i></b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Turbonilla sp. 1</i>	1	0
<i>Turbonilla sp. 2</i>	1	0
<i>Bulla occidentalis</i>	0	1
<i>Bulla sp.</i>	1	0
<i>Cylindrobulla beauli</i>	5	0
<i>Alvania faberi</i>	0	2
<i>Astyris lunata</i>	0	1
<i>Fossarus orbigny</i>	0	1
<i>Gibberula lavalleeana</i>	0	11
<i>Hespererato maugeriae</i>	0	1
<i>Iniforis turrithomae</i>	0	2
<i>Mitromica foveata</i>	0	1
<i>Olivella exilis</i>	0	5
<i>Parviturboides interruptus</i>	0	1
<i>Simulamerelina caribaea</i>	0	2
<i>Steironepion moniliferum</i>	0	2
<i>Tenaturris inepta</i>	0	3
<i>Voluta fusca</i>	1	0
<i>Lucapina philippiana</i>	0	1
<i>Volvarina ceciliae</i>	0	3
<i>Volvarina subtriplicata</i>	0	1
<i>Dermomurex pauperculus</i>	0	1
<i>Circulus semisculptus</i>	0	1
<i>Vexillum moniliferum</i>	0	1
<i>Coralliophila galea</i>	0	1
<i>Granoturris padolina</i>	0	1
<i>Jaspidella blanesi</i>	0	1
<i>Melanella eburnea</i>	0	1
<i>Eoacmaea pustulata</i>	0	3
<i>Euchelus guttarosea</i>	0	1
<i>Eulithidium adamsi</i>	0	60
<i>Eulithidium bellum</i>	0	80

<i>Synaptocochlea picta</i>	0	3
<i>Tegula gruneri</i>	0	1
<i>Arene cruentata</i>	0	2
<i>Cosmotriphora ornata</i>	0	1
<i>Acteocina candei</i>	0	3
<i>Acteocina liratispira</i>	0	1
<i>Odostomia laevigata</i>	0	1
<i>Rissoella caribaea</i>	0	2
<i>Arca imbricaria</i>	18	0
<i>Acar dominguensis</i>	315	0
<i>Barbatia cancellaria</i>	0	5
<i>Flugeria tenera</i>	28	0
<i>Cucullaearca candida</i>	37	0
<i>Arcopsis adamsi</i>	73	0
<i>Lithophaga aristata</i>	96	0
<b><i>Lithophaga bisulcata</i></b>	<b>206</b>	<b>1</b>
<i>Lithophaga nigra</i>	0	4
<i>Lithophaga antillarum</i>	0	1
<i>Gregariella coralliophaga</i>	4	0
<i>Lima caribaea</i>	0	6
<i>Isognomon bicolor</i>	694	0
<i>Isognomon radiatus</i>	504	0
<i>Malleus candeanus</i>	5	0
<i>Pododesmus rudis</i>	2	0
<i>Limaria pellucida</i>	2	0
<i>Chama macerophyla</i>	2	0
<i>Chama congregata</i>	3	0
<i>Chama florida</i>	5	0
<i>Papyridea semisulcata</i>	1	0
<i>Cymatioa sp.</i>	13	0
<i>Strigilia sp.</i>	7	0
<i>Semele proficua</i>	4	0
<i>Caribachlamys ornata</i>	0	2
<i>Cumingia coarctata</i>	44	0
<i>Coralliophaga coralliophaga</i>	2	0
<i>Phlyctiderma semiasperum</i>	6	0
<i>Entodesma beana</i>	2	0
<i>Timoclea grus</i>	2	0
<i>Choristodon robustus</i>	6	0
<i>Sphenia fragilis</i>	50	0
<i>Gastrochaena ovata</i>	23	0
<b><i>Gastrochaena hians</i></b>	<b>10</b>	<b>3</b>
<b><i>Spengleria rostrata</i></b>	<b>13</b>	<b>6</b>

<i>Trachycardium muricatum</i>	0	1
<i>Ctena orbiculata</i>	0	1
<i>Acanthochitona roseojugum</i>	0	4
<i>Acanthochitona lineata</i>	0	2
<i>Acanthochitona zebra</i>	0	22
<i>Acanthochitona sp.</i>	73	0
<i>Chaetopleura (Chaetopleura) apiculata</i>	35	0
<b><i>Lepidochitona (Lepidochitona) rosea</i></b>	<b>10</b>	<b>1</b>
<b><i>Lepidochitona (Lepidochitona) liozonis</i></b>	<b>5</b>	<b>12</b>
<i>Ischnochiton (Ischnochiton) Striolatus</i>	6	0
<i>Ischnochiton (Ischnochiton) hartmeyeri</i>	0	2
<b><i>Ischnochiton (Ischnochiton) erythronotus</i></b>	<b>2</b>	<b>9</b>
<i>Stenoplax bahamensis</i>	0	9
<i>Stenoplax boogii</i>	0	3
<i>Rhabdus sp.</i>	1	0

## Orden Decapoda

	La Perla del Golfo	Puerto Morelos
<i>Alpheus amblyonyx</i>	2	0
<i>Alpheus bahamensis</i>	1	0
<i>Alpheus bouvieri</i>	1	0
<i>Alpheus cristulifrons</i>	31	0
<i>Alpheus floridanus</i>	2	0
<i>Alpheus formosus</i>	45	0
<i>Alpheus minus</i>	1	0
<i>Alpheus normanni</i>	2	0
<i>Alpheus nuttingi</i>	7	0
<i>Alpheus paracrinitus</i>	26	0
<i>Alpheus peasei</i>	2	0
<b><i>Alpheus viridari</i></b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Alpheus heterochaelis</i>	0	1
<i>Alpheus barbadensis</i>	0	1
<i>Alpheus beanii</i>	0	2
<i>Alpheus nuno</i>	0	1
<i>Alpheus belli</i>	0	3
<i>Alpheus armatus</i>	0	23
<i>Alpheus sp1.</i>	1	0
<i>Alpheus sp2.</i>	1	0
<i>Alpheus sp3.</i>	2	0
<i>Alpheus sp4.</i>	1	0

<i>Synalpheus anasimus</i>	2	0
<i>Synalpheus brooksi</i>	1	0
<i>Synalpheus dominicensis</i>	2	0
<i>Synalpheus fritzmülleri</i>	21	0
<i>Synalpheus hemphilli</i>	2	0
<i>Synalpheus scaphoceris</i>	2	0
<i>Synalpheus townsendi</i>	4	0
<i>Synalpheus sp1.</i>	1	0
<i>Synalpheus sp2.</i>	1	0
<i>Synalpheus sp3.</i>	1	0
<i>Synalpheus sp4</i>	0	1
<i>Synalpheus minus</i>	0	1
<i>Synalpheus curacaoensis</i>	0	1
<i>Synalpheus pandionis</i>	0	2
<i>Synalpheus mcclendoni</i>	0	1
<i>Synalpheus obtusifrons</i>	0	1
<i>Alpheopsis trigona</i>	0	1
<i>Automate dolichognatha</i>	0	1
<i>Automate gardineri</i>	2	0
<i>Lysmata wurdemanni</i>	0	2
<i>Cinetorhynchus manningi</i>	0	2
<i>Periclimenaeus ascidiarum</i>	0	3
<i>Periclimenaeus atlanticus</i>	0	1
<i>Periclimenaeus caraibicus</i>	0	1
<i>Periclimenes finlayi</i>	0	1
<i>Metapheus rostratipes</i>	0	3
<i>Thor amboinensis</i>	0	19
<i>Ancylomenes pedersoni</i>	0	2
<i>Exhippolysmata oplophoroides</i>	0	2
<i>Brachycarpus biunguiculatus</i>	0	2
<i>Processa wheeleri</i>	0	1
<i>Carideo A</i>	0	3
<i>Pachygrapsus transversus</i>	42	0
<i>Percnon gibbesi</i>	0	15
<b><i>Williamstomponia denticulatus</i></b>	<b>11</b>	<b>2</b>
<i>Paraliomera dispar</i>	3	0
<i>Platypodiella spectabilis</i>	36	0
<i>Daira sp.</i>	2	0
<i>Actaea acantha</i>	0	2
<i>Eurypanopeus abbreviatus</i>	7	0
<i>Microcassiope granulimanus</i>	4	0
<i>Micropanope spinipes</i>	42	0
<i>Micropanope nuttingi</i>	12	0



<i>Micropanope sculptipes</i>	2	0
<i>Acanthobulus bermudensis</i>	1	0
<i>Panoplax depresa</i>	1	0
<i>Pilumnus dasypodus</i>	23	0
<i>Xanthido A</i>	0	1
<i>Xanthido B</i>	0	1
<i>Xanthido C</i>	0	1
<i>Xanthido D</i>	0	1
<i>Xanthido E</i>	0	4
<i>Eriphia ganagra</i>	7	0
<b><i>Epialthus delatatus</i></b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Microphrys antillensis</i>	3	0
<i>Mithrax aculeatus</i>	0	56
<i>Nonala holderi</i>	0	7
<b><i>Mithraculus coryphe</i></b>	<b>2</b>	<b>1,314</b>
<b><i>Mithraculus forceps</i></b>	<b>121</b>	<b>7</b>
<b><i>Mithraculus ruber</i></b>	<b>33</b>	<b>1</b>
<b><i>Mithraculus sculpus</i></b>	<b>6</b>	<b>123</b>
<i>Mithraculus cinctimanus</i>	0	7
<i>Damithrax hispidus</i>	0	1
<i>Damithrax spinosissimus</i>	0	1
<i>Hemus cristulipes</i>	0	2
<i>Omalacantha antillensis</i>	0	3
<i>Omalacantha bircomuta</i>	0	44
<i>Macrocoeloma subparallelum</i>	0	14
<i>Macrocoeloma diplacanthum</i>	0	5
<i>Macrocoeloma tripinosum</i>	0	2
<i>Pitho ilherminieri</i>	0	1
<i>Pitho mirabilis</i>	0	1
<i>Podochela macrodera</i>	0	1
<i>Stenorhynchus seticornis</i>	0	1
<i>Nemausa aciticornis</i>	0	2
<i>Majido A</i>	0	2
<i>Majido B</i>	0	1
<i>Majido C</i>	0	1
<i>Majido D</i>	0	1
<i>Achelous sebae</i>	0	1
<b><i>Domecia acanthophora</i></b>	<b>2</b>	<b>422</b>
<i>Uhlias limbatus</i>	3	0
<i>Pachycheles monilifer</i>	43	0
<i>Pachycheles ruginamus</i>	4	0
<i>Pachycheles pilosus</i>	0	3
<i>Megalobrachium soriatum</i>	27	0

<i>Neopisosoma curacaoense</i>	3	0
<i>Neopisosoma angustifrons</i>	20	0
<b><i>Petrolisthes galathinus</i></b>	<b>28</b>	<b>45</b>
<i>Petrolisthes jugosus</i>	61	0
<i>Petrolisthes sp1</i>	39	0
<i>Petrolisthes rosarensis</i>	1	0
<i>Petrolisthes columbensis</i>	87	0
<i>Petrolisthes bolivarensis</i>	15	0
<i>Petrolisthes sp2</i>	1	0
<i>Calcinus tibicen</i>	0	2,145
<i>Paguristes tortugae</i>	0	84
<i>Paguristes anomalus</i>	0	81
<i>Paguristes puncticeps</i>	0	23
<i>Paguristes cadenati</i>	0	18
<i>Pagurus brevidactylus</i>	0	145
<i>Panulirus argus</i>	0	22
<i>Panulirus guttatus</i>	0	4
<i>Phimochirus holthuisi</i>	0	5
<i>Axiopsis serratifrons</i>	0	16
<i>Stenopus hispidus</i>	0	3
<i>Aristaeomorpha foliacea</i>	0	1
<i>Anomuro A</i>	0	1
<i>Teoleoprys ruber</i>	0	280

---

## Phylum Echinodermata

	La Perla del Golfo	Puerto Morelos
<i>Linckia guildingii</i>	46	0
<i>echinaster serpentarius</i>	1	0
<i>Ophiocoma echinata</i>	0	8
<i>Ophiocoma wendtii</i>	0	3
<i>Ophiocoma pumila</i>	0	2
<b><i>Ophiocoma paucigranulata</i></b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Ophioderma rubicundum</i>	0	3
<i>Ophioderma appressum</i>	0	2
<i>Ophioderma brevispinum</i>	0	2
<i>Ophiocnida scabriuscula</i>	0	7
<i>Ophiolepis paucispina</i>	0	4
<i>Ophiolepis gemma</i>	0	4
<i>Ophiolepis impressa</i>	0	4
<i>Ophionereis squamulosa</i>	0	6
<b><i>Ophionereis reticulata</i></b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<i>Ophiophragmus moorei</i>	0	2
<i>Ophiophragmus riisei</i>	0	2
<i>Ophiophragmus septus</i>	0	1
<i>Ophiophragmus pulcher</i>	0	1
<i>Ophiactis quinqueradia</i>	0	1
<i>Ophiactis savignyi</i>	284	0
<i>Ophiopsila riisei</i>	0	7
<i>Ophiopsila vittata</i>	0	9
<i>Ophiopsila hartmeyeri</i>	0	4
<i>Ophiostigma isocanthum</i>	0	3
<i>Ophiostigma siva</i>	0	1
<b><i>Ophiothrix angulata</i></b>	<b>113</b>	<b>3</b>
<i>Ophiothrix brachyactis</i>	0	3
<i>Amphiura stimpsonii</i>	23	0
<b><i>Amphipholis squamata</i></b>	<b>20</b>	<b>1</b>
<i>Ophiothrix oerstedii</i>	0	4
<i>Tripneustes ventricosus</i>	1	0
<i>Eucidaris tribuloides</i>	15	0
<i>Echinometra lucunter</i>	30	0
<i>Pseudothyone belli</i>	15	0
<i>Holothuria grisea</i>	3	0

\*Nota: las especies remarcadas en negritas, corresponden a especies encontradas en ambos arrecifes.