



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**  
**ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR Y DE LA TIERRA**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**

**TESIS**

**GEOMORFOLOGÍA ARRECIFAL Y SU EFECTO SOBRE LA FUNCIÓN  
DE LOS ENSAMBLAJES ÍCTICOS**

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**  
CON ORIENTACIÓN EN ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

**MANUEL ALEJANDRO OLÁN GONZÁLEZ**

DIRECTOR:

**DR. HECTOR REYES BONILLA**

LA PAZ, B.C.S., FEBRERO DE 2018





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**  
**ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR Y DE LA TIERRA**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**

**TESIS**

**GEOMORFOLOGÍA ARRECIFAL Y SU EFECTO SOBRE LA FUNCIÓN  
DE LOS ENSAMBLAJES ÍCTICOS**

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**  
CON ORIENTACIÓN EN ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

**MANUEL ALEJANDRO OLÁN GONZÁLEZ**

DIRECTOR:

**DR. HECTOR REYES BONILLA**

LA PAZ, B.C.S., FEBRERO DE 2018



# DICTAMEN DE APROBACIÓN DE PROYECTO TERMINAL



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR  
Área de Conocimiento de Ciencias del Mar y de la Tierra  
Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras  
POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS



DR. ENRIQUE A. GÓMEZ GALLARDO UNZUETA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS  
PRESENTE.

Los abajo firmantes, Miembros del Comité Académico Asesor del trabajo de tesis completamente terminado, titulado:

Geomorfología arrecifal y su efecto sobre la función de los ensamblajes ícticos.

que presentó:

Manuel Alejandro Olán González

Otorgamos nuestro voto **aprobatorio** y consideramos que dicho trabajo está listo para su **defensa**, a fin de obtener el **Grado de Maestro** en Ciencias Marinas y Costeras, con Orientación en Ecología Marina.

Comité Académico Asesor:

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Dr. Héctor Reyes Bonilla        |       |
| Nombre del Director             | Firma |
| Dr. Lorenzo Álvarez Filip       |       |
| Nombre del Asesor               | Firma |
| Dra. Georgina Brabata Domínguez |       |
| Nombre del Asesor               | Firma |
| Dr. Carlos A. Salomón Aguilar   |       |
| Nombre del Asesor               | Firma |
| Dra. Rosalía Aguilar Medrano    |       |
| Nombre del Asesor               | Firma |

c.c.p Expediente del alumno (CIMACO)

Universidad Autónoma de Baja California Sur • Km. 5.5. Carretera al Sur, La Paz, Baja  
California Sur • MEXICO • Teléfono: (52) 612 123 88 00, ext. 2020  
• Web: <http://www.uabcs.mx>

## DEDICATORIA

A mi padre.

Porque aunque hoy no estemos juntos, sin ti no habría llegado hasta aquí.

A mi madre y a mis hermanas.

Ustedes son la razón principal por la cual me hice más fuerte.

A Viri.

La persona que siempre me ha acompañado en mis locuras.

Tú eres quien me ha levantado cuando otras personas ni siquiera sabían que me había caído.

A esos amigos que son y han sido parte de mi vida hasta el día de hoy.

He aprendido que quien hace amigos en el mar, consigue el tesoro más grande que este lugar le puede brindar.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y al Posgrado de Ciencias Marinas y Costeras (CIMACO), por darme la oportunidad como institución de desenvolverme durante el desarrollo de este posgrado y por brindarme una mejor formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca brindada para realizar mis estudios de maestría (número de apoyo 413585 y número de becario 582140). Asimismo por la Beca Mixta de Movilidad Nacional de la *Convocatoria de Becas Mixtas 2016 – marzo 2017* de la cual derivaron algunos de los datos utilizados en esta tesis.

A mi director de tesis, el Dr. Héctor Reyes Bonilla por haberme dirigido, orientado y por darme la oportunidad de formar parte del Laboratorio de Sistemas Arrecifales. Valoro muchísimo que creyera en mí desde la primera vez que nos conocimos a pesar del “primer intento fallido”. Gracias por su amistad y su humildad lo cual hace que lo admire mucho más no sólo como investigador sino también como ser humano.

A los miembros de mi Comité Académico Asesor (CAS) compuesto por la Dra. Georgina Brabata Domínguez, el Dr. Lorenzo Álvarez Filip, el Dr. Carlos Salomón Aguilar, y la Dra. Rosalía Aguilar Medrano, agradezco mucho el apoyo brindado a lo largo del desarrollo de este proyecto, así como sus valiosas recomendaciones y atinadas observaciones al escrito que me ayudaron a mejorarlo. Gracias por compartir su tiempo y por estar siempre ahí.

Al Dr. Ernesto Chávez, por darme la oportunidad de desarrollar mi estancia externa I en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). Por sus aportes a este trabajo y sus anécdotas sobre como eran los arrecifes del Golfo de México.

A los proyectos “CONECTIVIDAD Y FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ARRECIFALES DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE” (SEP-CONACyT 169747) otorgado al Dr. Horacio Pérez España, EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS EN LOS ARRECIFES DEL CARIBE MEXICANO” (CONACyT PDC-247104) otorgado al Dr. Lorenzo Álvarez Filip y “ACIDEZ DEL OCÉANO EN ZONAS ARRECIFALES DEL PACÍFICO MEXICANO: CONDICIONES ACTUALES Y EFECTO SOBRE PECES E INVERTEBRADOS” (registro 169809) otorgado al Dr. Héctor Reyes Bonilla, de los cuales derivaron los datos que fueron utilizados en esta tesis.

Agradezco a todas las personas que contribuyeron con la toma de datos de campo y a sus equipos de trabajo ya que sin ellos este proyecto no sería posible: a Virgilio Pérez y a los integrantes de “Buceo Huatulco” por su entusiasmo y ayuda durante la toma de datos en los arrecifes de Huatulco, Oaxaca; al Dr. Horacio Pérez

España y a los miembros del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana por su ayuda en los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano; al Dr. Lorenzo Álvarez Filip, que los estudiantes de la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL-UNAM) y miembros del Biodiversity and Reef Conservation Laboratory (BARCO LAB) me apoyaron con la toma de datos en los arrecifes de Puerto Morelos, Quintana Roo; y finalmente a los integrantes del Laboratorio de Sistemas Arrecifales, UABCS por su ayuda con la obtención de datos en arrecifes de La Paz, B.C.S.

A Damien Olivier por su valiosísimo aporte en la parte del trabajo y análisis funcional, apoyándome a resolver todas mis dudas en un campo de estudio que era desconocido para mí al comienzo de este trabajo y que gracias a su conocimiento compartido y a su paciencia, pude aclarar mis ideas y lograr que mi proyecto saliera adelante, agradezco mucho tu apoyo pero especialmente tu amistad.

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Sistemas Arrecifales con quienes compartí experiencias tanto en el escritorio como fuera de él. De ustedes me llevo mucho aprendizaje y cosas positivas que lograron impactar en muchos aspectos de mi vida profesional y personal. No los menciono por sus nombres porque son muchos y temo que se me escape alguno, pero saben que los aprecio mucho a todos y cada uno de ustedes.

Porque no todo es academia, quiero agradecer a aquellas personas que estuvieron conmigo en este viaje. A mis amigos Jorge Trujillo y Sandra Gallegos, por empujarme y lograr que mis ojos conocieran el desierto entre mar y montañas con nuestro primer viaje en 2011. A Karla Rodríguez porque fuiste una amiga y una hermana a la vez, recibíéndome en tu casa durante mi segundo viaje en 2015 cuando decidí aplicar al examen de ingreso. Al Sr. Mark Callahan y a su equipo de trabajo compuesto por Gloria Callahan y Alexis Sandez de la empresa “BajaMark Fishing Tackle” quienes fueron como mi segunda familia, gracias por la oportunidad de trabajar y compartir experiencias con ustedes durante mis primeros meses en la Paz. A los integrantes del club deportivo “Workout Fitness” quienes me brindaron su apoyo de muchas maneras e influyeron en que pudiera salir adelante, especialmente a la familia Méndez García con quienes hice una fuerte amistad. Por último, pero no menos importantes para mí, quiero agradecer a Gilberto Acosta y a Vanessa Francisco, dos personas muy especiales para mí, porque palabras me faltarían para expresar todo lo que gané al conocerlos, compartiendo su conocimiento al darme clases desde la licenciatura, con su experiencia durante mi estancia en su laboratorio con el Dr. Ernesto Arias y principalmente por su filosofía y forma de ver la vida, gracias de corazón, y gracias por todos sus consejos, los cuales trato de llevar a la práctica lo mejor que puedo hasta el día de hoy.

## Tabla de contenido

|   |      |
|---|------|
| <b>Glosario</b> .....   | x    |
| <b>Índice de figuras</b> .....  | xii  |
| <b>Índice de tablas</b> .....   | xiii |
| <b>Resumen</b> .....  | xiv  |
| <b>1. Introducción</b> .....  | 1    |
| 1.1 Antecedentes .....  | 4    |
| 1.2 Justificación.....  | 8    |
| 1.3 Objetivo general .....  | 9    |
| 1.3.1 Objetivos particulares .....  | 9    |
| <b>2. Metodología</b> .....   | 10   |
| 2.1 Área de estudio .....   | 10   |
| 2.2 Trabajo de campo .....  | 12   |
| 2.2.2 Las variables del sustrato .....  | 13   |
| 2.2.3 Peces arrecifales .....   | 16   |
| 2.3 Análisis de la información.....   | 16   |
| 2.3.1 Estructura comunitaria de corales pétreos y peces arrecifales .....       | 16   |
| 2.3.2 Índices ecológicos de la comunidad de peces arrecifales .....             | 16   |
| 2.3.3 Rasgos funcionales de peces arrecifales.....                              | 17   |
| 2.3.4 Índice de diversidad funcional.....                                       | 19   |
| 2.3.5 Análisis estadísticos.....  | 20   |
| <b>3. Resultados</b> .....  | 22   |
| 3.1 Las variables del sustrato.....   | 22   |
| 3.1.1 Cobertura de coral vivo y otros componentes del sustrato .....            | 22   |
| 3.1.2 Formas de crecimiento en corales pétreos .....                            | 24   |
| 3.1.3 Tallas de colonias en corales pétreos.....                                | 27   |
| 3.1.4 Complejidad estructural del hábitat.....                                  | 29   |
| 3.2 Estructura comunitaria de corales pétreos .....                             | 30   |
| 3.2.1 Riqueza total, composición y abundancia relativa de corales pétreos ..... | 30   |
| 3.3. Estructura comunitaria de peces arrecifales .....                          | 32   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.1 Riqueza total, composición y abundancia relativa de ensamblajes de peces arrecifales ..... | 32        |
| 3.4.1 Índices ecológicos de la comunidad de peces arrecifales.....                               | 34        |
| 3.4.2 Rasgos funcionales de peces arrecifales.....   | 34        |
| 3.4.3 Índice de diversidad funcional.....  | 36        |
| <b>4. Discusión .....</b>  | <b>40</b> |
| 4.1 Las variables del sustrato.....  | 40        |
| 4.2 Estructura comunitaria de corales pétreos.....   | 46        |
| 4.3. Estructura comunitaria de peces arrecifales .....   | 47        |
| 4.4 Diversidad funcional de los ensamblajes de peces arrecifales .....                           | 50        |
| <b>5. Conclusiones .....</b>   | <b>56</b> |
| <b>6. Referencias .....</b>  | <b>58</b> |
| <b>7. Anexos .....</b>   | <b>70</b> |

## Glosario

**Algas:** plantas unicelulares o multicelulares que no tienen raíces, ni sistemas de hojas. Carecen de células reproductivas y todas las células son potencialmente fértiles (Almada-Villela *et al.*, 2003).

**Algas coralinas:** son algas que construyen o cementan la estructura arrecifal; indicando buenas condiciones para el reclutamiento de larvas de coral (Lang *et al.*, 2010).

**Algas filamentosas:** son algas densamente compactadas que no se extienden a más de un centímetro sobre el sustrato en el que crecen, formando un césped algal. También llamadas cespitosas (Almada-Villela *et al.*, 2003; Lang *et al.*, 2010).

**Arrecife coralino:** estructuras geológicas sólidas y masivas, de origen biológico y variadas formas, los cuales se desarrollan en áreas tropicales y subtropicales. Su formación es resultado de la interacción tanto de procesos ecológicos responsables del crecimiento de los corales y otros organismos calcáreos; como de procesos físicos generados por el oleaje y las corrientes que modulan y redistribuyen el material calcáreo generado ((Alcolado *et al.*, 2004; Kench, 2010; Done, 2011).

**Complejidad estructural:** estructura física tridimensional de un ecosistema, la cual puede ser provista por la forma física y compleja de organismos vivientes, como árboles, pastos y corales por ejemplo. (Graham & Nash, 2013).

**Corales pétreos:** organismos marinos pertenecientes al filo de los cnidarios, predominantemente coloniales, que producen un esqueleto pétreo calcáreo debajo de su tejido y que están constituidos por numerosos pólipos carnosos fusionados entre sí, llegando a formar estructuras llamos arrecifes, donde se concentra un gran número de especies y taxa mayores (Alcolado, 2004).

**Diversidad funcional:** número, tipo y distribución de funciones realizadas por los organismos en un ecosistema (Díaz & Cabildo, 2001). También se define como el valor, rango, distribución y abundancia relativa de los caracteres funcionales en un ecosistema dado (Díaz & Colaboradores, 2007).

**Geomorfología arrecifal:** es el estudio de la distribución, morfología y procesos que controlan la formación y el cambio morfológico de los arrecifes de coral y las formas del relieve arrecifal asociadas a este (Kench, 2010).

**Grupo funcional:** conjunto de organismos que comparten respuestas ante factores ambientales o efectos similares sobre el funcionamiento de los ecosistemas, los cuales suelen expresarse en forma de valores similares de rasgos funcionales (Casanoves *et al.*, 2011).

**Hábitat:** Totalidad de las características ambientales de las localidades y las localidades mismas donde se puede encontrar una especie determinada (Krebs, 2003).

**Macroalga:** alga que se extiende más de un centímetro sobre el sustrato; tales como *Dictyota* y *Halimeda* (Almada-Villela *et al.*, 2003).

**Rasgo funcional:** característica morfológica, fisiológica y/o fenológica medible a nivel individual, desde el nivel celular hasta un organismo, que influye en su crecimiento, reproducción, supervivencia y/o en los efectos de sus atributos sobre las condiciones ambientales del ecosistema (Violle *et al.*, 2007).

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Diseño de muestreo aplicado en este trabajo. A) -Mapa general con las cuatro regiones de estudio. B) -Diseño que muestra las escalas evaluadas: regiones, localidades con ANP, sitios y transectos. C -Sitios/arrecifes por región (1- POT, 2- GC, 3- GM y 4- CM). .....  | 11 |
| <b>Figura 2.</b> Diagrama conceptual que muestra cómo podrían estar distribuidas las colonias de corales pétreos en un transecto (basado en Lang et al., 2010). A) Hace referencia al ancho de banda y longitud del transecto. B) Muestra cómo sería la evaluación de las medidas en las colonias de manera separada. D = diámetro, H = altura. .... | 15 |
| <b>Figura 3.</b> Cobertura relativa con los componentes del sustrato arrecifal encontrados en todos los transectos realizados por región de estudio A)- POT (n=48); B)- GC (n=47); C)- GM (n=44); y D)- CM (n=40). ....  | 23 |
| <b>Figura 4.</b> Porcentaje de ocurrencia con las formas de crecimiento en corales pétreos por región de estudio. A)- POT (n=48); B)- GC (n=47); C)- GM (n=44); y D)- CM (n=40). ....  | 26 |
| <b>Figura 5.</b> Distribución de frecuencias del diámetro y altura de colonias de corales pétreos en las cuatro regiones de estudio. A)- POT (n=48); B)- GC (n=47); C)- GM (n=44); y D)- CM (n=40). ....   | 28 |
| <b>Figura 6.</b> Distribución de frecuencias del Índice de Rugosidad arrecifal (IR) por región de estudio. A) -POT (n = 48); B) -GC (n = 47); C) -GM (n = 44); y D) -CM (n = 40). ....   | 29 |
| <b>Figura 7.</b> Abundancia relativa con las especies de corales pétreos que tuvieron mayor contribución a la cobertura coralina encontrada en las cuatro regiones de estudio. A) -POT (n = 48); B) -GC (n = 47); C) -GM (n = 44); y D) -CM (n = 40) .....   | 31 |
| <b>Figura 8.</b> Abundancia relativa con las 10 especies de peces que tuvieron mayor contribución para este grupo en las cuatro regiones de estudio. A)- POT (n = 48); B)- GC (n = 47); C)- GM (n = 44); y D)- CM (n = 40). ....   | 33 |
| <b>Figura 9.</b> Rasgos funcionales empleados en el análisis de diversidad funcional de peces y su porcentaje de contribución en cada región de estudio. A)- Talla, B)- Movilidad, C)- Actividad, D)- Agrupamiento E) -Posición en la columna de agua, y F) -Dieta. ....   | 35 |
| <b>Figura 10.</b> Análisis de varianza de 3 vías. Se muestran los factores por región (POT, GC, GM, CM); nivel de profundidad (somero, profundo); factor de protección (UR, UNR) así como la interacción región*profundidad*protección. ....   | 37 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla I.</b> Formas de crecimiento presentes en corales pétreos del Pacífico y Atlántico mexicano. ....   | 14 |
| <b>Tabla II.</b> Clasificación con base en las formas de crecimiento de las especies de corales pétreos encontradas en las cuatro regiones de estudio. Información obtenida en Reyes-Bonilla (2004) y la base de datos <a href="https://coraltraits.org/">https://coraltraits.org/</a> ..... | 24 |
| <b>Tabla III.</b> Valores promedio $\pm$ error estándar de los índices ecológicos riqueza de especies (S), abundancia (N), diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ) de la comunidad de peces por región de estudio.....  | 34 |
| <b>Tabla IV.</b> Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el índice de Rao.   | 39 |

## Resumen

Cambios en la estructura física del hábitat han reducido la integridad funcional y estructural de los arrecifes, observándose que los peces asociados se ven afectados en estas condiciones ya que realizan procesos esenciales del ecosistema; por este motivo, el estudio de su diversidad funcional es relevante en este contexto. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de las características geomorfológicas en cuatro zonas arrecifales del Pacífico y Atlántico mexicano (Huatulco-Pacífico Oriental Tropical; Isla Espíritu Santo-Golfo de California; Veracruz-Golfo de México; y Puerto Morelos-Mar Caribe) sobre la estructura comunitaria y diversidad funcional de ensamblajes de peces asociados. Se consideró la profundidad y el tipo de protección de las áreas como factores de análisis, y se estimaron descriptores físicos del sustrato como porcentaje de cobertura de coral vivo, número y tamaño de colonias de coral, y rugosidad del arrecife. Con base en ellos se analizó la respuesta de la estructura comunitaria de peces representados por índices de riqueza (S), diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), y equidad de Pielou ( $J'$ ), sobre su diversidad funcional calculada a partir del índice de Rao. Nuestros resultados indicaron que en el Pacífico no hay relación entre los factores rugosidad, cobertura de coral vivo, profundidad y protección, ni entre S,  $H'$ , y  $J'$  de la ictiofauna. Sin embargo, la cobertura de coral vivo se relacionó positivamente con esos índices en arrecifes del Atlántico. No hubo relación entre Rao y la rugosidad en las cuatro regiones, pero sí una tendencia negativa entre tal índice y la profundidad en el Golfo de México. Con lo anterior, se concluyó que no existe un patrón generalizado que relacione las características geomorfológicas de arrecifes en ambas costas con la función de las comunidades ícticas, sino que depende de las condiciones particulares que se presentan en cada zona así como de las preferencias que las comunidades ícticas le otorguen al hábitat en cada región.

**Palabras clave:** Diversidad funcional, complejidad estructural, peces óseos, corales pétreos, Índice de Rao.

## 1. Introducción

Los arrecifes coralinos son estructuras geológicas sólidas y masivas, de origen biológico y variadas formas, los cuales se desarrollan en áreas tropicales y subtropicales (Alcolado *et al.*, 2004). Su formación es resultado de la interacción tanto de procesos ecológicos responsables del crecimiento de los corales y otros organismos calcáreos, como de procesos físicos generados por el oleaje y las corrientes que modulan y redistribuyen el material calcáreo generado (Done, 2011; Kench, 2010). Dentro de estos ecosistemas destaca el grupo de los corales duros o pétreos (Anthozoa: Scleractinia) por su capacidad para depositar grandes cantidades de carbonato de calcio y formar complejas estructuras tridimensionales las cuales proveen resguardo y recursos para una amplia gama de organismos asociados (Álvarez-Filip *et al.*, 2009; Álvarez-Filip *et al.*, 2013).

La complejidad estructural del hábitat es el componente físico tridimensional de un ecosistema (Graham & Nash, 2013) y en los sistemas arrecifales se atribuye en gran parte a los corales pétreos, los que actúan como especies base en la construcción de los mismos (Álvarez-Filip *et al.*, 2011a). Los patrones de degradación y resiliencia ecológica en sistemas arrecifales se miden típicamente a través de cambios en la geomorfología arrecifal, su cobertura coralina total y su complejidad estructural (Kench, 2010; Álvarez-Filip *et al.*, 2011b). No obstante, una disminución en la cobertura de coral vivo puede no resultar inmediatamente en una pérdida de hábitat, ya que existe evidencia que la estructura física del hábitat puede permanecer mucho tiempo después de la muerte de los corales (Álvarez-Filip *et al.*, 2009).

Particularmente se ha demostrado que la complejidad estructural del hábitat arrecifal afecta la estructura y composición de las comunidades de peces asociadas en arrecifes del Pacífico y Atlántico Occidental (McCormick, 1994; Aburto-Oropeza & Balart, 2001; Almany, 2004; Gratwicke & Speight, 2005; Wilson *et al.*, 2007; Álvarez-Filip *et al.*, 2009; Wilson *et al.*, 2010; Harborne *et al.*, 2012; Graham & Nash, 2013; Newman *et al.*, 2015). Procesos como la selección de hábitat para el reclutamiento de larvas; la competencia y/o depredación, la densidad de herbívoros y las tasas de ramoneo, típicamente aumentan en sistemas con alta complejidad estructural

(Almany, 2004; Bellwood *et al.*, 2006; Graham *et al.*, 2006; Alvarez-Filip *et al.*, 2011c). Asimismo, las comunidades de peces se encuentran entre los componentes más conspicuos de los sistemas arrecifales y son responsables del flujo de materia y energía en las redes alimenticias, de la estabilidad de los ecosistemas (resistencia y resiliencia), así como de gran parte de las interacciones biológicas (intra e interespecíficas) que se llevan a cabo en éstos ecosistemas (Bellwood *et al.*, 2004; Bellwood *et al.*, 2006; Villeger *et al.*, 2010; Mouillot *et al.*, 2014).

Desafortunadamente, muchos arrecifes coralinos han sufrido un deterioro acelerado en las últimas décadas a escala global (De'ath *et al.*, 2012; Jackson *et al.*, 2014). La diversidad, frecuencia y magnitud tanto de impactos antropogénicos como de disturbios naturales sobre estos ecosistemas (Blackwood *et al.*, 2011); fenómenos como el cambio climático (Frieler *et al.*, 2012); la acidificación oceánica (Shaw *et al.*, 2015) o incluso la invasión por especies exóticas (Luque *et al.*, 2013) son ejemplos sobresalientes de ello. Las consecuencias de estos cambios disminuyen la diversidad de las comunidades de peces asociadas, comprometen el mantenimiento de la complejidad estructural del hábitat y deterioran la disposición de importantes servicios ecosistémicos al ser humano (Costanza *et al.*, 1997; Adam *et al.*, 2015). Por ejemplo, existe evidencia de que la pesca relacionada con los arrecifes constituye aproximadamente del 9-12% del total a nivel mundial y representa más del 25% en la captura total en el Indo-Pacífico (Moberg & Folke, 1999). En la región del Caribe las pesquerías en arrecifes proveen ingresos anuales netos estimados en 310 millones de dólares (Burke & Maidens, 2005). Además, el mercado de los acuarios marinos obtiene ingresos de entre 20 y 40 millones de dólares al año (Johannes & Riepen, 1995).

Si bien las aproximaciones clásicas para entender los cambios en la diversidad de las comunidades biológicas analizaban la abundancia, la riqueza de especies y los índices de diversidad y equidad, suponiendo una equivalencia ecológica entre las especies, lo que implicaba que todas tenían la misma probabilidad de sobrevivir y reproducirse (Magurran, 2004; Morin, 2011); es la pérdida de funciones particulares desempeñadas por las especies la que parece ser la principal amenaza que podría afectar patrones y procesos dentro del ecosistema

arrecifal (Hooper *et al.*, 2005; Hillebrand *et al.*, 2009; Álvarez-Filip *et al.*, 2013; Mouillot *et al.* 2013; Mouillot *et al.*, 2014). Por lo anterior, un número creciente de autores demostró que conocer la composición funcional de las comunidades biológicas puede brindar más información sobre los procesos que se llevan a cabo en los ecosistemas que si sólo se emplea la diversidad de especies como medida para explicar estos cambios (Hillebrand & Matthissen, 2009; Cadotte, 2011; Cordova-Tapia & Zambrano, 2015). En este sentido, el estudio de la diversidad funcional es necesario para entender la relación entre la identidad taxonómica, la estructura de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas (Córdova-Tapia & Zambrano, 2015).

Definido por Díaz & Cabildo (2001) como el número, tipo y distribución de funciones realizadas por los organismos en un ecosistema y más tarde por Díaz y colaboradores (2007) como el valor, rango, distribución y abundancia relativa de los caracteres funcionales en un ecosistema dado, la diversidad funcional se enfoca en el entendimiento de comunidades y ecosistemas basados en lo que los organismos hacen más que en su identidad taxonómica o evolutiva (Petchey & Gaston, 2006, Naeem *et al.*, 2009). Su estudio se basa en el uso de caracteres funcionales, también llamados rasgos funcionales, éstos son características morfológicas, fisiológicas y/o fenológicas medibles a nivel individual, desde el nivel celular hasta un organismo, que influyen en su crecimiento, reproducción, supervivencia y/o en los efectos de sus atributos sobre las condiciones ambientales del ecosistema (Violle *et al.*, 2007).

Existen dos formas principales, compatibles entre sí, de caracterizar la diversidad funcional. La más generalizada y antigua es la distinción de grupos o tipos funcionales que son conjuntos de organismos que comparten respuestas ante factores ambientales o efectos similares sobre el funcionamiento de los ecosistemas (Tilman, 1997). La segunda forma de caracterizar la función es a través índices de diversidad funcional (Botta-Dukat *et al.*, 2005, Mason *et al.*, 2005, Petchey & Gaston 2006; Vileger *et al.*, 2008; Cadotte *et al.*, 2011; Stuart-Smith *et al.*, 2013;). No existe un índice ideal para todas las situaciones, sino que la utilidad de éstos, depende del contexto. Por lo anterior, la caracterización a través de medidas de diversidad funcional o a través de grupos funcionales, debe concebirse como abordajes

complementarios más que contradictorios dependiendo de los objetivos específicos del estudio (Laliberte & Legendre, 2010; Casanoves *et al.*, 2011).

Por todo lo anterior, el presente trabajo pretende conocer el estado geomorfológico de arrecifes en regiones selectas del Pacífico y Atlántico mexicano debido a que la reducción en la cobertura de coral vivo, la pérdida de complejidad estructural del hábitat así como los cambios en la estructura y composición de los ensamblajes ícticos asociados han comprometido la integridad de estos ecosistemas y su capacidad para continuar generando servicios ecosistémicos. Dado que se desconoce si estas variables se ven afectadas de la misma forma en distintas costas del país ni si los cambios que sufre la estructura física del hábitat en estos ambientes afecta la función de la fauna asociada, se intentará abordar estas interrogantes tomando como grupo de análisis a los peces óseos asociados debido a la importancia que tienen éstos en los procesos que se llevan a cabo en estos ambientes.

## **1.1 Antecedentes**

México cuenta con la presencia de arrecifes coralinos y rocosos en casi todas sus costas (Carricart-Ganivet & Horta-Puga, 1993). Destaca primeramente la región Tropical del Atlántico Occidental (Mar Caribe y el Golfo de México), por contar con el segundo sistema arrecifal más grande a nivel mundial (Almada-Villela *et al.*, 2003; Tunell *et al.*, 2010), mientras que las costas del Pacífico (Pacífico tropical y Golfo de California) cuentan con arrecifes coralinos y rocosos, aunque éstos son menos comunes y se encuentran conformados por parches escasamente distribuidos a lo largo de toda la costa (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Álvarez-Filip *et al.*, 2006), razón por la que quizás la porción del Atlántico Occidental de México recibiera más atención en cuanto a la cantidad de estudios relacionados con este tópico que su contraparte del Pacífico.

A pesar de lo anterior, una variedad de estudios ecológicos realizados en sistemas arrecifales de nuestro país se han enfocado en el estudio de la complejidad estructural del hábitat tanto en el Atlántico (Álvarez-Filip *et al.*, 2009; Álvarez-Filip *et al.*, 2011a; Álvarez-Filip *et al.*, 2011b; Álvarez-Filip *et al.*, 2011c; Álvarez-Filip *et al.*,

2011d; Bozec *et al.*, 2014) como en el Pacífico mexicano (Gilligan, 1980; Baynes; 1999; Aburto-Oropeza & Balart, 2001), destacando que esta característica del hábitat determina la abundancia, riqueza y diversidad de ensamblajes de peces asociados a sus arrecifes (Darling *et al.*, 2012).

Asimismo, existen trabajos donde se ha evaluado el estado de condición de los sistemas arrecifales y la estructura comunitaria de peces asociados en regiones del Atlántico y Pacífico mexicano: Almada-Villela y colaboradores (2003); García-Salgado y colaboradores (2006); Carriquiry-Beltrán y colaboradores (2010); Lang y colaboradores (2010), en arrecifes de Quintana Roo y Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez (2003); Horta-Puga (2003); Horta-Puga & Tello-musi, (2009) en arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano; Pérez-España y colaboradores 1996, Aburto-Oropeza & Balart (2001), en diversos sitios de Bahía de la Paz y Golfo de California; Álvarez-Filip y colaboradores (2006) en Cabo Pulmo; Barjau y colaboradores (2011, 2012) en Isla San José; López-Pérez & López-García (2008) y López-Pérez & colaboradores (2014) en arrecifes de Huatulco, Oaxaca; así como Galva-Villa y colaboradores (2010) en Isla Isabel, Nayarit.

Por otra parte, se han realizado también listados sistemáticos de la ictiofauna de nuestro país que han contribuido al conocimiento sobre las especies de peces en regiones como el Caribe (Schmitter-Soto *et al.*, 2000); Golfo de México (González-Gándara & Arias-González, 2001; Del Moral-Flores *et al.*, 2013); Pacífico Oriental Tropical (Robertson & Allen, 2015) y Golfo de California (Del Moral-Flores y colaboradores 2013).

Sin embargo, a pesar de que se cuenta con toda esta información en distintas regiones de México, recientemente se ha incorporado el uso de rasgos morfológicos (Villeger *et al.*, 2010; Aguilar-Medrano *et al.*, 2015) y funcionales (Álvarez-Filip & Reyes-Bonilla, 2006; Darling *et al.*, 2012; Ramírez-Ortiz *et al.*, 2017) a este tipo de estudios para analizar la información de las comunidades de peces sobre los patrones y procesos del ecosistema, proveyendo información diferente y complementaria a los análisis ecológicos tradicionales ya existentes.

Ejemplo de lo anterior es el estudio realizado por Darling y colaboradores (2012), quienes evaluaron a través de un método cuantitativo si las estrategias de historia de vida de corales escleractinios pueden ser inferidas directamente a partir de rasgos ecológicos. Los autores realizaron una clasificación funcional con base en información de 847 especies (101 del Atlántico y Caribe, y 746 del Indo-Pacífico): forma de crecimiento, formación solitaria o colonial, modo reproductivo, tamaño de la colonia, diámetro del coralite, rango de profundidad, fecundidad, tiempo generacional, tasa de crecimiento, densidad esquelética, y riqueza de simbioses. Como resultado, identificaron cuatro estrategias de historia de vida de las especies a nivel global: competitivas, oportunistas, tolerantes al estrés y generalistas.

En el caso de la comunidad íctica, Mouillot y colaboradores (2014), exploraron diferentes medidas de diversidad funcional en peces arrecifales, a través de métodos basados en distancias funcionales como el índice de Rao e índices para calcular la riqueza funcional (FRic), la redundancia funcional (FR) y la vulnerabilidad funcional (FV) en arrecifes de diversas regiones tropicales del mundo (incluyendo el Atlántico Occidental y el Pacífico Oriental). Los autores encontraron que incluso en sistemas con alta diversidad como lo son los arrecifes coralinos, la diversidad funcional sigue siendo vulnerable a la pérdida de especies ya que aunque existen funciones que pueden estar sobre-representadas en el ecosistema, existen otras que por el contrario pueden estar soportadas por una sola especie.

Entre los estudios que se han realizado a escala regional destaca el de Ramírez-Ortiz y colaboradores (2017) donde analizaron la diversidad funcional de peces e invertebrados en sistemas arrecifales del todo el Pacífico Oriental Tropical. Para lograr esto, el estudio abarcó un total de 18 áreas de 4 provincias biogeográficas: Cortés, Mexicana, Panámica e Islas Oceánicas, registrando un total de 257 especies de peces e invertebrados organizados en 27 grupos morfo-funcionales. Los caracteres utilizados fueron: nivel trófico, talla máxima, taxonomía y morfología. Ellos mostraron que existe un patrón decreciente de grupos funcionales hacia los Trópicos indicando con esto, que la diversidad funcional aumenta con una baja diversidad de especies, aunque esta alcanza una asíntota.

Existen algunos estudios puntuales en México basados en el uso de rasgos eco-morfológicos los cuales toman en cuenta la relación entre la forma, el desempeño y la ecología de los organismos (Bellwood *et al.*, 2002), lo que ha permitido entender patrones de distribución en términos de selección de hábitat. Por ejemplo Villeger y colaboradores (2010) encontraron al analizar una serie de sitios en Laguna de Términos (Golfo de México), que en los peces se reconocen dos funciones clave: la obtención de alimento y la locomoción. La primera toma en cuenta el tamaño de las presas, el método de captura, la posición en la columna de agua, la habilidad de filtrar, el nivel trófico y la detección de presas; mientras que la locomoción incluye la posición en la columna de agua, el uso de las aletas pectorales, el uso de la aleta caudal, la velocidad de nado, la fuerza de arrastre y la maniobrabilidad.

Aguilar-Medrano & Calderón-Aguilera (2014) por su parte, evaluaron la diversidad funcional de peces e invertebrados en cuatro zonas del Pacífico Oriental Tropical mediante el empleo de análisis morfométricos y eco-morfológicos en la forma y la dieta. Los autores obtuvieron un total de seis grupos tróficos subdivididos en 19 grupos funcionales y concluyeron que las comunidades de peces en esta zona presentan un alto grado de redundancia funcional. También encontraron que la diversidad de peces no se relacionó con la cobertura coralina en estos ambientes y que la combinación en el uso de características relacionadas con la forma y la dieta produjo una clasificación más efectiva de los grupos funcionales.

Finalmente, en un estudio realizado por Álvarez-Filip & Reyes-Bonilla (2006) compararon la estructura comunitaria y diversidad funcional de la comunidad íctica en Cabo Pulmo entre 1987 y 2003 mediante el análisis de índices ecológicos y caracteres funcionales presentes en este grupo. A través del uso de diagramas de agrupamiento, identificaron de igual forma seis grupos funcionales. Los rasgos funcionales empleados en su análisis incluyeron: el nivel trófico, tipo de huevo, longitud total del pez, relación entre la longitud de la maxila y la cabeza, forma de la aleta caudal, relación entre la longitud estándar y la altura del cuerpo, residencia y su posición en la columna de agua. Los autores encontraron que aunque la estructura comunitaria cambió entre 1987 y 2003, la diversidad taxonómica y funcional no lo

hizo, lo que atribuyen se puede deber al relativo alto grado de redundancia funcional en esta comunidad.

## **1.2 Justificación**

Cada vez son más los estudios que analizan la diversidad funcional en comunidades y los investigadores están cada vez más conscientes de que los estudios basados en rasgos de especies pueden dar información más relevante que las comparaciones de riqueza o composición de especies (Cadotte *et al.*, 2011).

Particularmente, es relevante examinar la diversidad funcional en sistemas arrecifales ya que se encuentran entre más complejos estructuralmente, biodiversos y entre los más amenazados a nivel global (Alvarez-Filip *et al.*, 2013; De'ath *et al.*, 2012; Jackson *et al.*, 2014). Para ello, las comunidades de peces arrecifales resultan ideales por ser un componente importante de estos ecosistemas (Bellwood *et al.*, 2004), ser el grupo de vertebrados más diverso y relativamente bien conocido, además de abarcar una amplia gama de papeles ecológicos importantes y proporcionar recursos clave a las comunidades humanas locales (Bellwood *et al.*, 2004; Mumby *et al.*, 2008; Fiorenza-Micheli *et al.*, 2013; Stuart-Smith *et al.* 2013).

A pesar de que en México se han realizado varios estudios que han medido cambios en la complejidad estructural sobre los arrecifes y cómo afectan la estructura comunitaria de peces, la mayoría de estos se han centrado a la porción del Atlántico, prestando poca atención a otras regiones con arrecifes como el Pacífico. Además, son los estudios que han evaluado medidas de diversidad funcional de peces en sistemas arrecifales en nuestro país son escasos (ej. Álvarez-Filip *et al.*, 2006 en Cabo Pulmo y Aguilar-Medrano *et al.*, 2015 y Ramirez-Ortiz *et al.*, 2017 en el Pacífico tropical) de modo que, actualmente no hay investigaciones relacionen los cambios que sufre la estructura física del hábitat con las funciones que los ensamblajes de peces desempeñan en estos ecosistemas. Durante el desarrollo de este trabajo se pretende generar información sobre la complejidad estructural del hábitat, la cobertura coralina y la morfología de arrecifes en diversas regiones de México, además de evidenciar si existe relación entre estas variables y función de sus ensamblajes ícticos, a partir de un conjunto de rasgos ecológicos, creando con

esto una línea base sobre estos aspectos, en regiones selectas del Golfo de México, Caribe mexicano, Golfo de California y Pacífico Oriental Tropical.

### **1.3 Objetivo general**

Evaluar el efecto que tienen las características geomorfológicas de arrecifes en cuatro regiones del Pacífico y Atlántico mexicano, sobre la estructura comunitaria y diversidad funcional de peces asociados a estos ecosistemas.

#### **1.3.1 Objetivos particulares**

- Calcular en cada región el porcentaje de cobertura de coral vivo y de otros componentes que conforman el sustrato.
- Determinar la abundancia, riqueza, diversidad y talla de las colonias de corales pétreos y de los peces óseos por región de estudio.
- Describir la estructura tridimensional del hábitat arrecifal mediante el cálculo de la rugosidad del fondo en cada una de las cuatro regiones de interés.
- Determinar el valor de la diversidad funcional de los ensamblajes de peces por transecto a partir del índice Q de Rao.
- Establecer si existe relación entre las características geomorfológicas del arrecife con su estructura comunitaria y funcional de ensamblajes de peces bajo factores de protección, profundidad y región de estudio a través de modelos estadísticos.

## **2. Metodología**

### **2.1 Área de estudio**

El estudio se llevó a cabo en arrecifes coralinos y rocosos de zonas tropicales y subtropicales de la República Mexicana aplicando un diseño de muestreo espacial jerárquico (figura 1). El trabajo abarcó cuatro regiones: Pacífico Oriental Tropical (POT), Golfo de California (GC), Golfo de México (GM), y Caribe Mexicano (CM). Posteriormente, fueron seleccionadas localidades con Áreas Naturales Protegidas (ANP) dentro de cada región: Huatulco, Oaxaca (región POT), La Paz, Baja California Sur (región GC), Veracruz y Antón Lizardo, Veracruz (región GM) y Puerto Morelos, Quintana Roo (región CM). A continuación se enlistan las ANP seleccionadas dentro de cada localidad de estudio:

Parque Nacional Huatulco (PNH). Ubicado en Santa María Huatulco Oaxaca, ocupando el plano costero, las estribaciones de la sierra Madre del Sur y la plataforma continental correspondiente entre los 15°39'12" y 15°47'10" latitud norte y los 96°06'30" y 96°15'00" longitud oeste, dentro de la región del Pacífico Oriental Tropical. Su superficie total es de 11,890 ha de las cuales 6,374.98 ha son terrestres y 5,516 ha pertenecen a la zona marina (CONANP, 2003).

Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo (PNZMAES). Ubicado frente a las costas de La Paz Baja California Sur entre los 24°38'12" y 24°22'44" latitud norte y los 110°14'54" y 110°26'58" longitud oeste, dentro de la región del Golfo de California. Su superficie es de 47,749 ha (CONANP, 2001).

Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Ubicado frente a las costas Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo, Alvarado entre los 19° 02' 03" y 19°15' 18" latitud norte y los 95° 46' 41" y 96° 11' 16" longitud oeste, dentro de la región del Golfo de México. Su superficie es de 52,238 ha (CONANP, 2011).

Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos (PNAPM). Ubicado frente a Benito Juárez y Puerto Morelos, Quintana Roo entre los 21° 00' 00" y 20° 48' 33" latitud norte y los 86° 53' 14.40" y 86° 46' 38.94" longitud oeste, dentro de la región del Caribe mexicano. Su superficie es de 9,066 ha (CONANP, 2000).

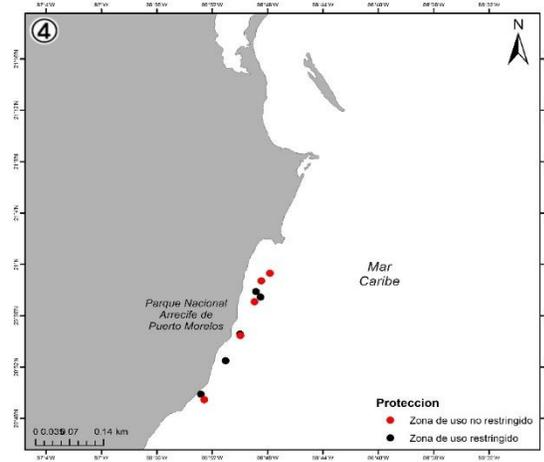
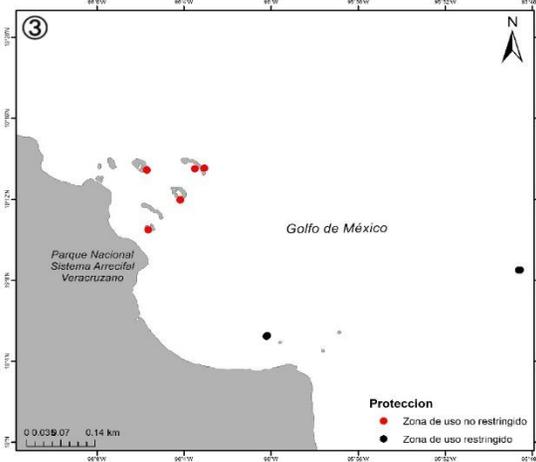
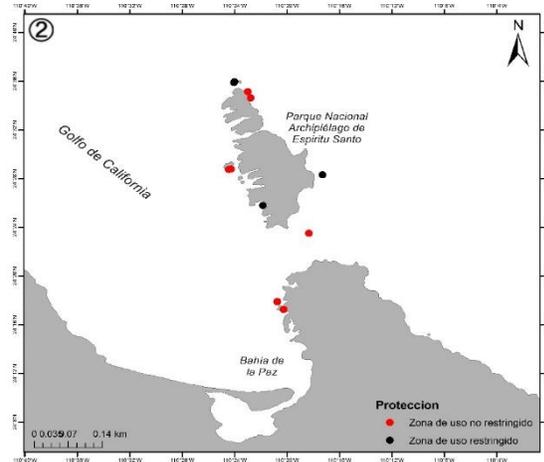
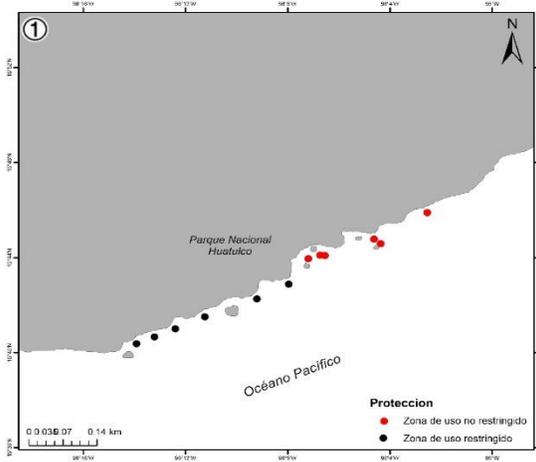
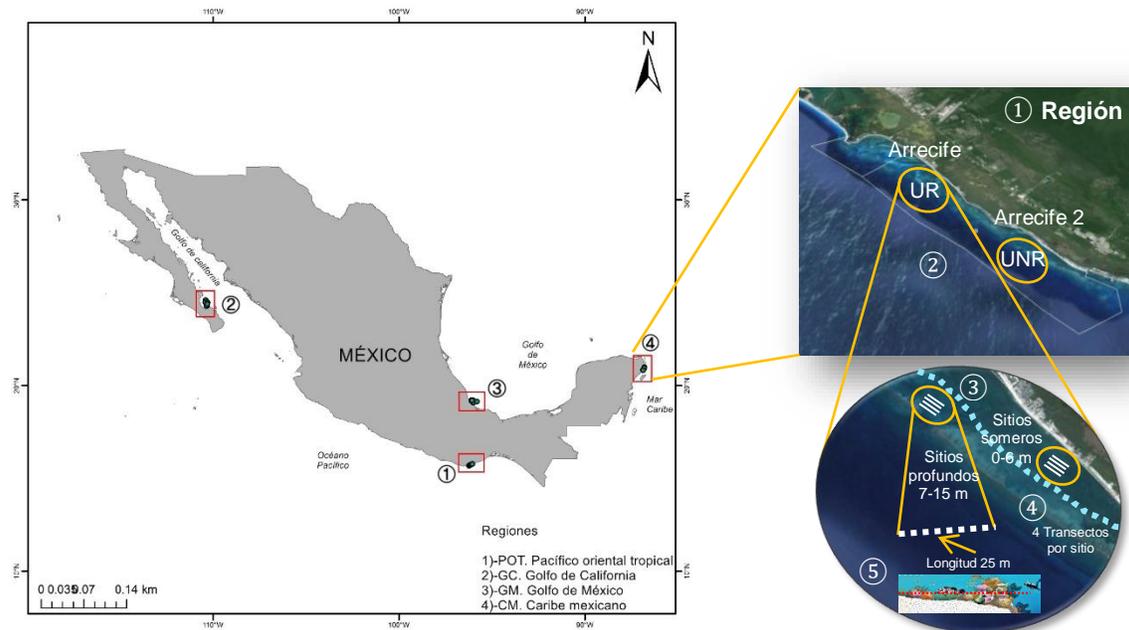


Figura 1. Diseño de muestreo aplicado en este trabajo. A) -Mapa general con las cuatro regiones de estudio. B) -Diseño que muestra las escalas evaluadas: regiones, localidades con ANP, sitios y transectos. C) -Sitios/arrecifes por región (1- POT, 2- GC, 3- GM y 4- CM).

A

## 2.2 Trabajo de campo

La evaluación de las comunidades se llevó a cabo durante durante los meses de abril a diciembre del año 2016. En cada localidad se seleccionaron de 10 a 12 sitios con formaciones arrecifales a los que se les tomó la posición geográfica con la ayuda de un GPS. Se realizaron censos paralelos a la costa en zonas someras (0-6 m), y zonas profundas (7-15 m) y se registró la profundidad inicial y final de los mismos. La selección de los sitios realizó con base su grado de protección (ej. zona núcleo, zona de amortiguamiento o fuera del polígono del ANP); este grado de protección se utilizó como un factor más para su posterior análisis. Dado que las categorías de protección en los planes de manejo de cada región son nombradas de distinta manera, los sitios fueron re-clasificados (anexo 1) en dos categorías: zonas de Uso Restringido (UR), donde sólo se realizan actividades de preservación, investigación científica, turismo de bajo impacto, monitoreo del ambiente y educación ambiental; y sitios en zonas de Uso No Restringido (UNR), donde se realizan actividades de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales o de uso público libre.

En la región del POT los censos se efectuaron del 10 al 16 de abril en Huatulco en 12 sitios/arrecifes (seis someros y seis profundos), dentro y fuera del PNH. Posteriormente, en la región del GM el trabajo de campo se realizó del 30 de mayo al 6 de junio en Veracruz y Antón Lizardo en 11 sitios/arrecifes (seis someros y cinco profundos), todos dentro del PNSAV. En la región del CM se realizó la labor del 15 al 30 de julio en Puerto Morelos, con 10 sitios/arrecifes (cinco someros y cinco profundos), dentro del PNAPM. Finalmente, en la región del GC los censos realizaron del 28 de noviembre al 1 de diciembre en La Paz, en 12 sitios/arrecifes (seis someros y seis profundos), dentro y fuera del PNZMAES.

Cabe mencionar que la metodología utilizada en campo se basó en gran medida en los siguientes documentos: Protocolo de Monitoreo Sinóptico del Sistema Arrecifal Mesoamericano (PMS-SAM, 2003); el manual de métodos para monitoreo ecológico de arrecifes coralinos del Indo-Pacífico (GCRMN, 2004) y el protocolo de Monitoreo de Evaluación Rápida de Arrecifes del Golfo y el Atlántico (AGRRA, 2010).

## 2.2.2 Las variables del sustrato

### 2.2.2.1 Cobertura de coral vivo y otros componentes del fondo

La evaluación del sustrato se realizó en transectos de 25 m de largo mediante el método de punto de intercepción para porcentaje de cobertura (Almada-Villela *et al.*, 2003). El método consistió en nadar por encima de la línea del transecto registrando los componentes del fondo vivos e inertes (anexo 2) que se encontraron directamente debajo de cada una de las marcas de 25 cm, evitando ser selectivo, es decir nadar directamente arriba alineando la medida de la cinta con el sustrato y observando su posición en el centro al ubicar los puntos.

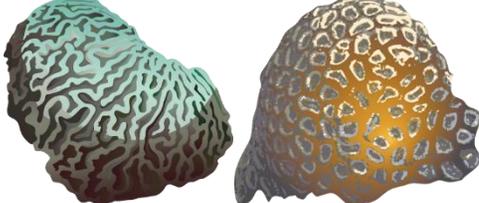
El registrar cada 25 cm permitió un rendimiento de 100 puntos/registros por transecto, con lo que fue posible computar el porcentaje de cobertura de coral vivo (octocorales y corales pétreos), además del resto de los componentes que integraron el sustrato mediante la fórmula propuesta por Almada-Villela *et al.* (2003):

$$(\text{Número de puntos del componente}/100)*100\%$$

### 2.2.2.2 Formas de crecimiento en corales pétreos

Con el fin de representar el porcentaje de cobertura de coral vivo no sólo por el conjunto de las especies que lo conforman sino también por la forma de crecimiento que presentan en su desarrollo; los corales pétreos encontrados fueron agrupados con base en Reyes-Bonilla (2004) y la base de datos <https://coraltraits.org/> considerando cuatro formas de crecimiento que pueden presentar especies del Atlántico occidental y Pacífico oriental (tabla I): corales pétreos con crecimiento Ramificado (R), Masivo (M), Plato (P) y Solitario (S).

Tabla I. Formas de crecimiento presentes en corales pétreos del Pacífico y Atlántico mexicano.

| Forma de crecimiento | Descripción   | Esquema representativo  |
|----------------------|---|---|
| Ramificada           | Colonias que se ramifican de manera arborescente, llegando a formar masas de ramas ya sea compactas o separadas (ej. <i>Pocillopora</i> en el Pacífico, <i>Acropora</i> en el Caribe) |    |
| Masiva               | Masa compacta de forma redondeada, hemisférica, cónica o irregular con cálices que pueden presentar variadas formas ( <i>Pavona</i> en el Pacífico, <i>Orbicella</i> en el Caribe)    |    |
| Plato                | Forma láminas que se extienden casi horizontalmente o de lo contrario casi paralelamente al sustrato (ej. <i>Agaricia</i> en el Caribe)   |   |
| Solitaria            | Parte superior plana y circular. Corales de tamaños pequeños y formados por un solo pólipo (ej. <i>Fungia</i> en el Pacífico, <i>Scolymia</i> en el Caribe)                           |  |

### 2.2.2.3 Tallas de colonias en corales pétreos

Estas fueron evaluadas sobre transectos de 25 m de largo por 1 m de ancho (25 m<sup>2</sup>) registrando todas las especies de corales pétreos presentes. Se estimó además la abundancia de las colonias y su talla individual en cm incluyendo el diámetro máximo (área viva) a vista de plano, diámetro mínimo (área viva) perpendicular al diámetro máximo de la colonia en cm y altura máxima proyectada dentro del ancho de banda mencionado (Lang *et al.*, 2010). Sin embargo, si la colonia se encontró dentro del ancho de banda pero su tamaño total excedía el rango (ej. colonias mayores a 1 m), se midió y consideró dentro de la abundancia total (figura 2).

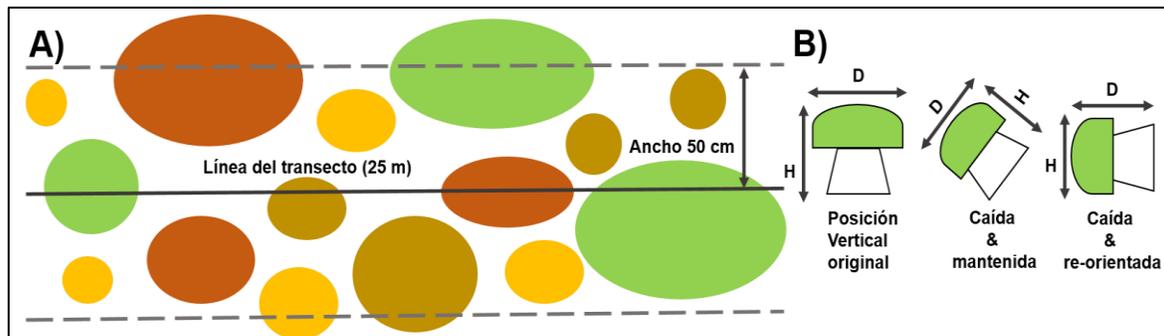


Figura 2. Diagrama conceptual que muestra cómo podrían estar distribuidas las colonias de corales pétreos en un transecto (basado en Lang *et al.*, 2010). A) Hace referencia al ancho de banda y longitud del transecto. B) Muestra cómo sería la evaluación de las medidas en las colonias de manera separada. D = diámetro, H = altura.

### 2.2.2.4 Complejidad estructural del hábitat

Se evaluó dentro de los primeros 10 m de cada transecto de 25 m de longitud, mediante el método de cadena y cinta. El método consistió en extender una cadena de 10 m de longitud en línea recta y siguiendo el perfil del sustrato del arrecife (Rogers *et al.*, 1994). Posteriormente se midió la distancia cubierta por los puntos extremos de la cadena y este valor se comparó con su longitud original para así calcular la relación entre el contorno del sustrato y la distancia lineal del mismo (Hill & Wilkinson, 2004). El valor resultante es utilizado como un índice de rugosidad (IR), de

tal forma que un arrecife con sustrato plano tendría un IR de 1 y valores más altos indicarían arrecifes más complejos (Rogers *et al.*, 1994).

### 2.2.3 Peces arrecifales

Los peces arrecifales fueron evaluados mediante el método transectos de banda (Lang *et al.*, 2010) el cual consistió en colocar transectos de 25 m de largo por 4 m de ancho (100 m<sup>2</sup>) ubicando primero la punta sujeta con un peso en el fondo en un punto seleccionado al azar dentro de los límites generales del sitio. Después se realizó el nado en línea recta a lo largo del contorno del terreno para minimizar cambios en la profundidad soltando la cinta del carrete mientras se contaban y registraban los peces. Al ir contando mientras se soltaba la cinta se minimizó la perturbación a los peces antes del conteo.

Se contó y registró todas las especies de peces óseos encontrados dentro la ventana de observación de 4 m de ancho por 2 m de alto estimada visualmente y se estimó la talla en cm de cada individuo con base en la longitud total (LT) del organismo asignándolo a las siguientes categorías de tamaño: <5 cm, 5-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70, 71-80, 81-100 cm (Lang *et al.*, 2010). Cabe mencionar que el recorrido del transecto se realizó a una velocidad uniforme (6-8 minutos aproximadamente) no obstante, en aquellos sitios donde la densidad de las especies objetivo fuera alta disminuyó el ritmo del recorrido.

## 2.3 Análisis de la información

### 2.3.1 Estructura comunitaria de corales pétreos y peces arrecifales

Se calculó la composición, riqueza específica y abundancia relativa (%) en cada región de estudio con base en los datos obtenidos del punto de intercepción para porcentaje de cobertura en corales (Almada-Villela *et al.*, 2003) y de los censos de banda en peces (Lang *et al.*, 2010).

### 2.3.2 Índices ecológicos de la comunidad de peces arrecifales

Se calcularon a partir de los datos de abundancia relativa por censo mediante dos índices ecológicos comunitarios que han sido ampliamente utilizados en los

análisis de diversidad tradicionales (Clarke & Warwick, 2001; Magurran, 2004): Shannon-Wiener y Uniformidad de Pielou.

- Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ). Proporciona información sobre la estructura comunitaria al considerar en conjunto tanto el número de especies como la abundancia de cada una. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$H' = -\sum (n_i/N) \ln (n_i/N)$$

Donde  $n_i$  = número de individuos de la especie  $i$  en un censo y  $N$  = número total de individuos de todas las especies en el censo. Los valores de este índice indican que  $H_{\text{máx}} = \log S$  mientras que  $H_{\text{mín}} = 0$  indicaría que todos los individuos pertenecen a la misma especie.

- Uniformidad o equidad de Pielou ( $J'$ ). Provee información sobre la forma en que la abundancia es repartida entre las especies, al medir la proporción de la diversidad observada y la diversidad máxima esperada en la comunidad ( $\ln S$ ). Este índice toma valores de 0 a 1 y se interpreta considerando que a mayor equidad se obtiene un valor más cercano a uno. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$J' = H' / \ln S$$

Donde  $H'$  = índice de Shannon-Wiener y  $S$  = número de especies en el censo.

### 2.3.3 Rasgos funcionales de peces arrecifales

Los caracteres utilizados para estimar la función de los peces arrecifales en este trabajo fueron descritos previamente por Moulliot y colaboradores (2014) con algunas modificaciones, y se conformaron por seis rasgos categóricos, los cuales describen las principales facetas de la ecología de estos organismos y que además están disponibles para una amplia gama de especies. A continuación se describe la relevancia ecológica de cada rasgo y la forma como fueron codificadas las categorías para su análisis:

1. Talla del cuerpo. El tamaño corporal tiene un papel importante en la definición del nicho ecológico de los peces. Específicamente, el tamaño determina las necesidades energéticas a través de la cantidad de energía requerida por unidad de masa corporal y restringe las relaciones entre presas y depredadores debido a la escala entre el tamaño de la boca y la talla del cuerpo. La talla también influye en la tasa de crecimiento y los peces más pequeños crecen más rápido que los peces más grandes. La tasa de mortalidad tiende a ser más alta para peces más pequeños, mientras que la tolerancia a la temperatura está relacionada en parte al tamaño corporal de los peces arrecifales. Además, las especies de tallas pequeñas, alcanzan la madurez sexual a edades menores, en comparación con las de mayor talla. Este rasgo se calculó con base en la longitud total (LT) del pez en centímetros y estuvo codificado utilizando seis categorías ordenadas: A) 0-7 cm, B) 7.1-15 cm, C) 15.1-30 cm, D) 30.1-50 cm, E) 50.1-80 cm, y F) >80 cm.
2. Movilidad. La movilidad determina las necesidades energéticas de los peces, con especies móviles que requieren una mayor cantidad de energía por unidad de masa en comparación con especies sedentarias. La movilidad también afecta la extensión espacial a la cual los peces controlan sus recursos y transfieren nutrientes, especialmente entre hábitats alrededor de arrecifes. Este rasgo fue codificado usando tres categorías ordenadas: A) sedentaria (incluidas las especies territoriales), B) movilidad media, y C) movilidad alta
3. Periodo de actividad. El periodo del día en el que los peces se encuentran activos tiene implicación en el rol trófico que las especies juegan en la cadena alimenticia a través tanto de controles ascendentes (el conjunto de recursos que pueden obtener o depredar) como descendentes (la susceptibilidad de ser objetivos o depredados). Por ejemplo, la mayoría de las especies nocturnas evitan ser presas de depredadores activos durante el día y viceversa. Este rasgo se codificó utilizando dos categorías ordenadas: A) diurna, y B) nocturna.

4. Agrupamiento (schooling). El agrupamiento determina la capacidad de escapar de la depredación, impactando los procesos ecológicos locales, con especies que se agrupan. Este rasgo se codificó utilizando cuatro categorías ordenadas: A) solitarias, B) parejas, C) grupos pequeños (3-50 individuos), y D) grupos grandes (>50 individuos)
5. Posición vertical en la columna de agua. El nivel en la columna de agua ocupada por un pez influye en el conjunto de posibles presas disponibles así como en el impacto de los peces en la transferencia de nutrientes entre los estratos verticales. Este rasgo se codificó utilizando tres categorías ordenadas: A) bentónicas, B) bento-pelágicas, y C) pelágicas.
6. Dieta. Este rasgo determina el impacto de los peces en el funcionamiento del ecosistema a través de interacciones con otros componentes de la cadena trófica y en consecuencia, con el ciclo de nutrientes. La dieta también media los requerimientos del hábitat debido a que algunos recursos se encuentran restringidos a hábitats particulares (ej. algas epífitas). Este rasgo se caracterizó con base en los principales elementos consumidos por cada especie, dando lugar a seis categorías tróficas: A) herbívoros-detritívoros (ej. peces alimentándose de algas filamentosas, macroalgas, pastos marinos y/o material orgánico indefinido), B) invertívoros dirigidos a invertebrados sésiles (ej. peces alimentándose de corales, esponjas, ascidias), C) invertívoros dirigidos a invertebrados móviles (ej. peces alimentándose de especies bénticas como crustáceos), D) planctívoros (ej. peces que comen pequeños organismos en la columna de agua), E) piscívoros (incluyendo peces y cefalópodos) y F) omnívoros (ej. peces que se alimentan de material tanto vegetal como animal en la misma proporción dentro de su dieta).

#### 2.3.4 Índice de diversidad funcional

Con las combinaciones de rasgos obtenidos por especie en las regiones de estudio y los valores de su abundancia relativa, se calculó su diversidad funcional con base en el índice de diversidad funcional Q de Rao (Rao, 1982; Botta-Dukát 2005; Ricotta, 2005). Con base en los atributos de cada especie se calcula la

probabilidad de que al seleccionar dos individuos al azar, éstos pertenezcan a dos especies distintas. Este índice usa la abundancia relativa de las especies como ponderadora y para estimar Rao se requiere tener una medida de distancia entre especies (en este caso se utilizó la distancia de Gower) y estimar Rao como:

$$FD_Q = \sum_{i=1}^{S-1} \sum_{j=i+1}^S d_{ij} p_i p_j$$

Donde S es el número de especies,  $d_{ij}$  es la distancia entre la i-ésima y la j-ésima especie, y  $p_i$  es la frecuencia relativa de la i-ésima especie.  $FD_Q$  expresa la diferencia promedio entre dos individuos seleccionados al azar con reemplazos (Botta-Dukát, 2005).

Una propiedad de este índice es que su valor disminuye cuando el número de especies incrementa. Lo anterior se debe a que tanto la abundancia de las especies como las diferencias entre ellas tienen un efecto sobre la diversidad funcional. La introducción de una especie nueva a la comunidad aumenta la abundancia específica y puede disminuir la disimilitud promedio de especies (Botta-Dukát, 2005).

### 2.3.5 Análisis estadísticos

Se construyeron matrices con la información obtenida en campo para los grupos evaluados (corales pétreos y peces arrecifales), considerando las diferentes escalas espaciales (regiones, sitios/arrecifes y transectos). Además del nivel de profundidad (somero y profundo) y tipo de protección (uso restringido y uso no restringido).

Los valores obtenidos de los diferentes descriptores de la comunidad de peces arrecifales (riqueza, abundancia, diversidad de Shannon-Wiener  $H'$  y equidad de Pielou  $J'$ ) fueron calculados mediante el programa PAST versión 3.16 (Hammer *et al.*, 2001) con los datos de abundancia por especie, en cada región evaluada.

Para calcular los valores del índice de diversidad funcional Q de Rao se empleó el software R Studio versión 1.0.136 (R Development Core Team, 2010). En RStudio se utilizó el paquete "FD" el cual sirve para calcular diferentes índices

multidimensionales de diversidad funcional, implementando un marco de referencia basado en distancias para medir diversidad funcional de cualquier número y tipo de rasgos funcionales considerando también las abundancias relativas de las especies (Laliberté *et al.*, 2015). Para computar los índices en el paquete FD se utilizó la matriz de rasgos funcionales de peces por especie en cada región y una matriz de la abundancia relativa por especie como ponderador del índice.

Posteriormente, con el fin de evaluar si existen diferencias significativas entre los valores obtenidos para el índice de Rao por región de estudio se realizó un Análisis de varianza (ANDEVA) de tres vías (Zar, 2009) con la ayuda del programa Statistica versión 7.0. Los factores considerados fueron la región (POT, GC, GM y CM), el nivel de profundidad (somero y profundo) y el tipo de protección (zonas de uso restringido y zonas de uso no restringido). Para cumplir con lo anterior, los datos de Rao deben antes cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas necesarios en pruebas paramétricas, aplicando las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene; de lo contrario los datos serán transformados para satisfacer los requisitos del ANDEVA (Zar, 2009).

Para determinar si existe una posible relación entre los valores calculados de Rao y las características del sustrato arrecifal, su estructura comunitaria y otros descriptores del hábitat calculados, se realizó un análisis de regresión múltiple por pasos, con la ayuda del programa Statistica versión 7.0. Este método permite que se haga una discriminación más fina de las variables elegidas, alcanzando incluso el valor máximo del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) explicado con el mínimo de variables incluidas en el modelo (Darlington & Hayes, 2016). La variable dependiente en el modelo fue el índice de Rao y el conjunto de variables independientes fueron descriptores del hábitat (nivel de profundidad, protección); características del sustrato arrecifal (rugosidad, número de colonias, cobertura de coral vivo); e índices de estructura comunitaria de peces (riqueza, diversidad, equidad). De igual forma para realizar estos análisis se tomaron en cuenta los supuestos de normalidad y homocedasticidad en pruebas paramétricas aplicando las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y homogeneidad de varianzas de Levene (Zar, 2009).

### 3. Resultados

Se obtuvo información de un total de 45 sitios de muestreo: 23 sitios someros y 22 sitios profundos ( $n = 179$  transectos) en las cuatro regiones de estudio (anexo 3). Dentro de cada sitio se evaluaron las características físicas del sustrato y se realizaron los censos de corales pétreos y ensamblajes de peces asociados.

#### 3.1 Las variables del sustrato

##### 3.1.1 Cobertura de coral vivo y otros componentes del sustrato

La cobertura relativa del sustrato arrecifal en el POT (figura 3A) estuvo constituida mayormente por algas filamentosas quienes cubrieron el  $38.58 \pm 4.59 \%$  del fondo, seguido del sustrato conformado por coral vivo donde solo se registraron corales pétreos ( $25.35 \pm 4.48 \%$ ) y el sustrato conformado por arena ( $19.02 \pm 3.14 \%$ ). En la región del GC (figura 3B), los tres tipos de sustrato más importantes fueron primero el coral vivo ( $25.97 \%$ ) donde se registraron corales pétreos ( $25.51 \pm 4.57 \%$ ) y octocorales ( $0.46 \pm 0.30 \%$ ); el segundo componente en orden de importancia fue formado por algas filamentosas ( $21.65 \pm 3.55\%$ ) y, posteriormente el integrado por las algas coralinas ( $20.48 \pm 3.43\%$ ). Para la región del GM (figura 3C), el sustrato arrecifal se compuso mayormente por coral vivo ( $47.22 \%$ ), corales pétreos ( $39.29 \pm 2.99\%$ ) y octocorales ( $7.93 \pm 2.15\%$ ). El segundo componente del sustrato en orden de importancia fueron las esponjas ( $9.54 \pm 1.05\%$ ), seguido por las algas coralinas ( $8.95 \pm 1.74\%$ ). En la región del CM (figura 3D), el sustrato arrecifal más importante fue el coral vivo ( $30.7\%$ ) compuesto por corales pétreos ( $18.55 \pm 1.89\%$ ) y octocorales ( $12.15 \pm 1.16\%$ ). El segundo componente del sustrato en importancia estuvo conformado por algas filamentosas ( $24.87 \pm 2.16\%$ ) seguido del grupo formado por las macroalgas ( $20.22 \pm 2.01\%$ )

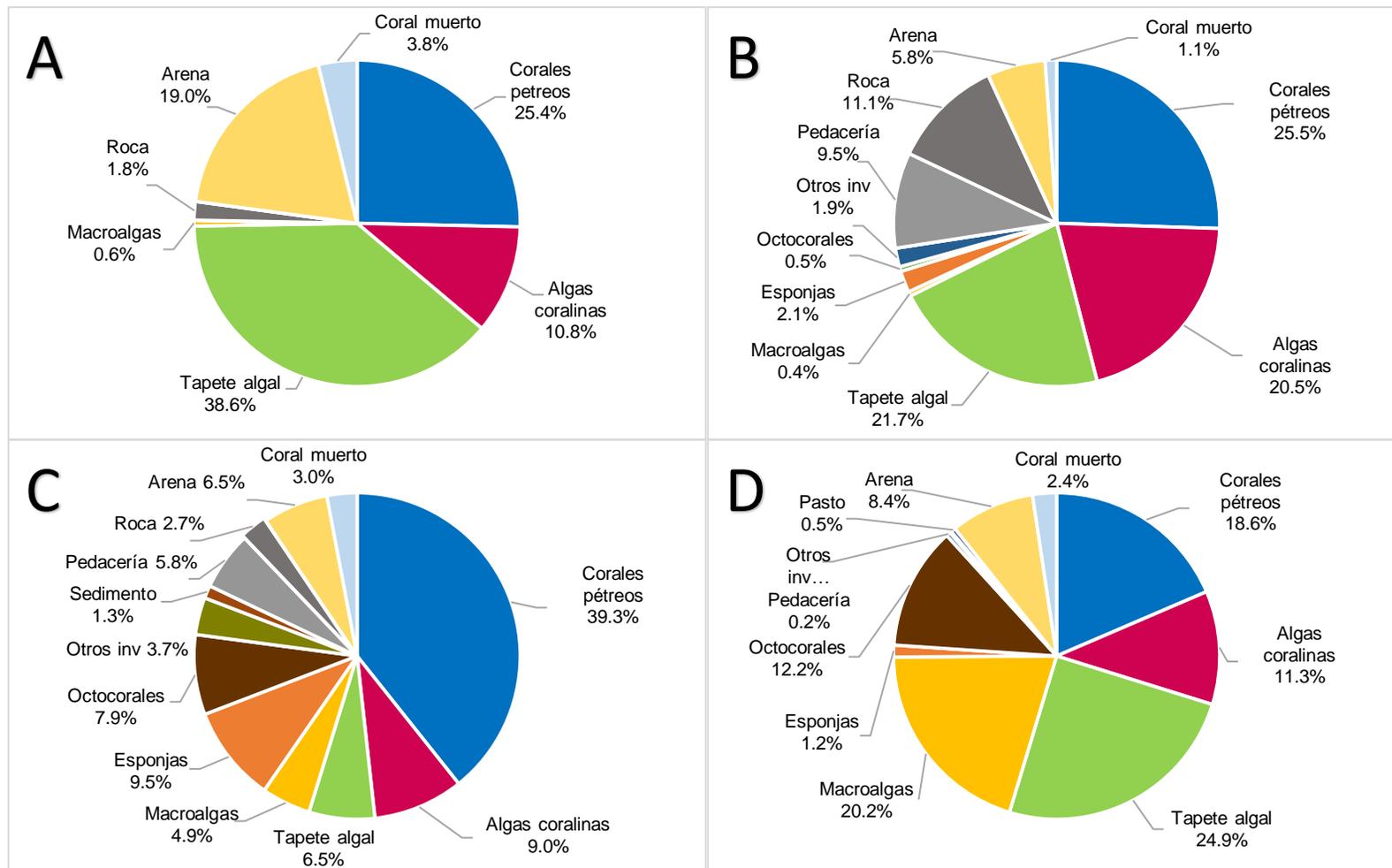


Figura 3. Cobertura relativa con los componentes del sustrato arrecifal encontrados en todos los transectos realizados por región de estudio A)- POT (n=48); B)- GC (n=47); C)- GM (n=44); y D)- CM (n=40).

### 3.1.2 Formas de crecimiento en corales pétreos

Se encontraron cuatro formas de crecimiento en corales pétreos dentro de las cuatro regiones de estudio. Las regiones en su conjunto registraron especies con crecimiento en forma ramificada o arborescente, especies con crecimiento en forma masiva o submasiva, especies con crecimiento en forma de plato o laminar y finalmente especies con crecimiento solitario aunque esta última sólo se presentó en la región del GM (tabla II).

Tabla II. Clasificación con base en las formas de crecimiento de las especies de corales pétreos encontradas en las cuatro regiones de estudio. Información obtenida en Reyes-Bonilla (2004) y la base de datos <https://coraltraits.org/>

| Zona      | Especie                          | Autoridad              | Forma de crecimiento |
|-----------|----------------------------------|------------------------|----------------------|
| Pacífico  | <i>Pavona gigantea</i>           | Verrill, 1869          | Masivo               |
| Pacífico  | <i>Tubastraea coccinea</i>       | Lesson, 1829           | Masivo               |
| Pacífico  | <i>Pocillopora verrucosa</i>     | Ellis & Solander, 1786 | Ramificado           |
| Pacífico  | <i>Pocillopora capitata</i>      | Verrill, 1864          | Ramificado           |
| Pacífico  | <i>Pocillopora damicornis</i>    | Linnaeus, 1758         | Ramificado           |
| Pacífico  | <i>Pocillopora meandrina</i>     | Dana, 1846             | Ramificado           |
| Pacífico  | <i>Porites panamensis</i>        | Verrill, 1866          | Masivo               |
| Pacífico  | <i>Psammocora stellata</i>       | Verrill, 1866          | Ramificado           |
| Atlántico | <i>Acropora palmata</i>          | Lamarck, 1816          | Ramificado           |
| Atlántico | <i>Acropora cervicornis</i>      | Lamarck, 1816          | Ramificado           |
| Atlántico | <i>Agaricia lamarcki</i>         | Edwards & Haime, 1851  | Plato                |
| Atlántico | <i>Agaricia fragilis</i>         | Dana, 1848             | Plato                |
| Atlántico | <i>Agaricia tenuifolia</i>       | Ellis & Solander, 1786 | Plato                |
| Atlántico | <i>Agaricia agaricites</i>       | Linnaeus, 1758         | Plato                |
| Atlántico | <i>Agaricia humilis</i>          | Verrill, 1901          | Plato                |
| Atlántico | <i>Helioseris cucullata</i>      | Dana, 1848             | Plato                |
| Atlántico | <i>Stephanocoenia</i>            | Lamarck, 1836          | Masivo               |
| Atlántico | <i>Madracis decactis</i>         | Lyman, 1859            | Masivo               |
| Atlántico | <i>Montastrea cavernosa</i>      | Linnaeus, 1767         | Masivo               |
| Atlántico | <i>Dendrogyra cylindrus</i>      | Ehrenberg, 1834        | Masivo               |
| Atlántico | <i>Meandrina meandrites</i>      | Linnaeus, 1758         | Masivo               |
| Atlántico | <i>Dichocoenia stokesii</i>      | Milne Edwards & Haime, | Masivo               |
| Atlántico | <i>Orbicella annularis</i>       | Ellis & Solander, 1786 | Masivo               |
| Atlántico | <i>Orbicella faveolata</i>       | Ellis & Solander, 1786 | Masivo               |
| Atlántico | <i>Orbicella franksi</i>         | Gregory, 1895          | Masivo               |
| Atlántico | <i>Colpophyllia natans</i>       | Houttuyn, 1772         | Masivo               |
| Atlántico | <i>Diploria labyrinthiformis</i> | Linnaeus, 1758         | Masivo               |
| Atlántico | <i>Mycetophyllia</i>             | Edwards & Haime, 1848  | Plato                |

|           |                                |                        |            |
|-----------|--------------------------------|------------------------|------------|
| Atlántico | <i>Pseudodiploria clivosa</i>  | Ellis & Solander, 1786 | Masivo     |
| Atlántico | <i>Pseudodiploria strigosa</i> | Dana, 1846             | Masivo     |
| Atlántico | <i>Scolymia lacera</i>         | Pallas, 1766           | Solitario  |
| Atlántico | <i>Oculina diffusa</i>         | Lamarck, 1816          | Ramificado |
| Atlántico | <i>Oculina varicosa</i>        | Le Sueur, 1820         | Ramificado |
| Atlántico | <i>Porites divaricata</i>      | Le Sueur, 1820         | Ramificado |
| Atlántico | <i>Porites furcata</i>         | Lamarck, 1816          | Ramificado |
| Atlántico | <i>Porites porites</i>         | Pallas, 1766           | Ramificado |
| Atlántico | <i>Porites astreoides</i>      | Lamarck, 1816          | Masivo     |
| Atlántico | <i>Siderastrea sidérea</i>     | Ellis & Solander, 1786 | Masivo     |
| Atlántico | <i>Siderastrea radians</i>     | Pallas, 1766           | Masivo     |
| Atlántico | <i>Millepora complanata</i>    | Lamarck, 1816          | Plato      |
| Atlántico | <i>Millepora alcicornis</i>    | Linnaeus, 1758         | Ramificado |

Dentro de la región del POT y el GC se encontraron mayormente especies con formas de crecimiento ramificadas, las cuales representaron el 98.8% y el 85.2% del total de especies encontradas (figura 5A y 5B), respectivamente para este grupo. En la región del GM se encontró en su mayoría especies con formas de crecimiento masivas, las cuales representaron el 92.4% del total de especies encontradas (figura 5C). En el caso del CM se encontró una mejor proporción de formas de crecimiento para este grupo, ya que el 56.9% de las especies encontradas presentaron formas con crecimiento masivo, 22.1% de especies con formas de plato y un 21% de especies con formas de crecimiento ramificado (figura 5D).

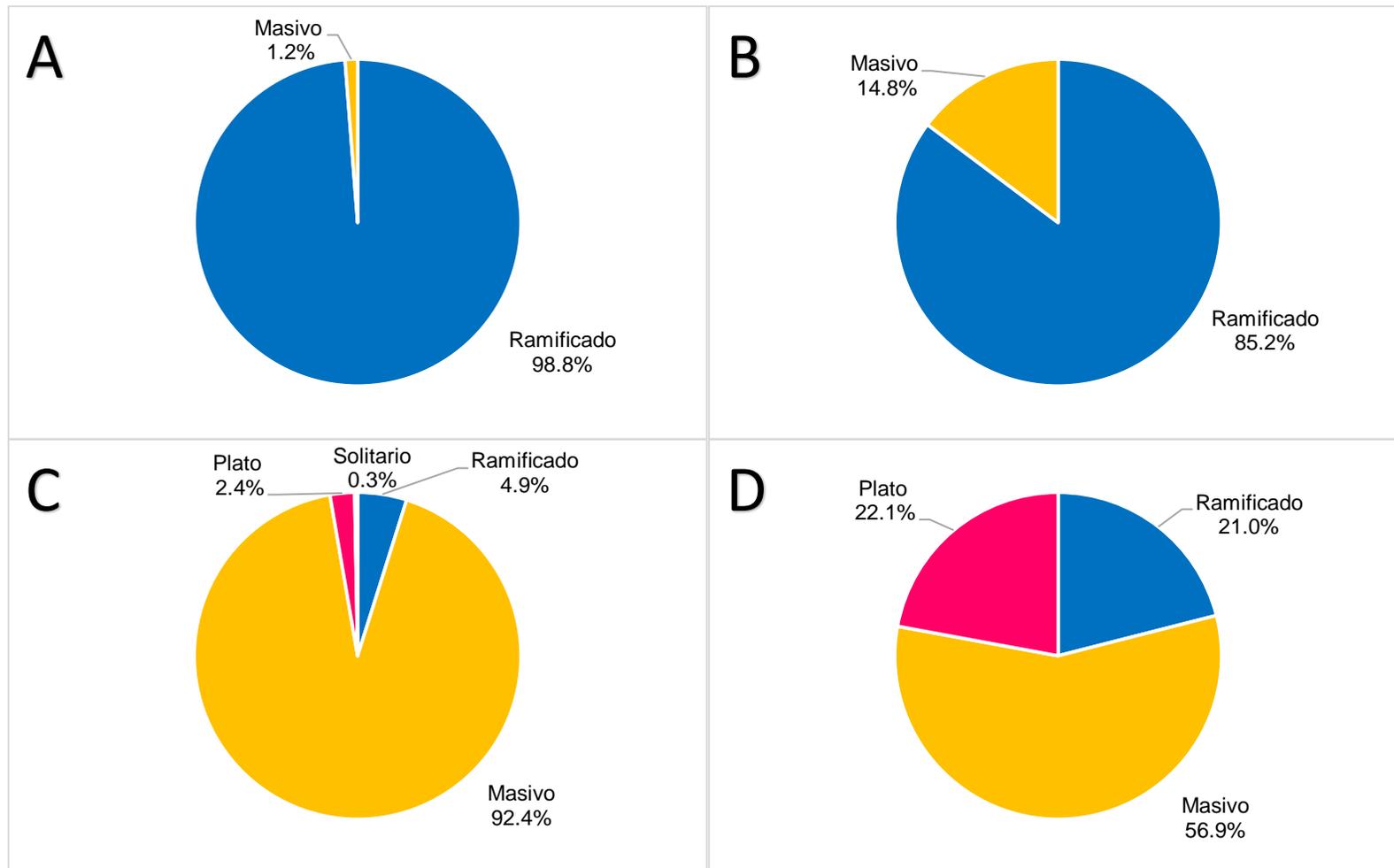


Figura 4. Porcentaje de ocurrencia con las formas de crecimiento en corales pétreos por región de estudio. A)- POT (n=48); B)- GC (n=47); C)- GM (n=44); y D)- CM (n=40).

### 3.1.3 Tallas de colonias en corales pétreos

Con el esfuerzo de muestreo realizado, se midieron 3,052 colonias de corales pétreos en las cuatro regiones de interés. La región del CM fue la que presentó el mayor número de colonias (1296), seguido por la región del GC (733) colonias medidas, la región del GM (629) colonias y por último la región del POT (394). El tamaño de las colonias en la región del POT presentó un diámetro máximo (Dmax) de  $38.87 \pm 1.29$  cm y una altura de  $12.91 \pm 0.44$  cm, mientras que en el GC el Dmax de las colonias fue de  $36.09 \pm 1.08$  cm y su altura de  $15.83 \pm 0.46$ . Para la región del GM las colonias presentaron en promedio un Dmax de  $47.38 \pm 1.30$  cm y una altura de  $28.38 \pm 1.06$  cm mientras que en la región del CM el Dmax de estas resultó ser de  $31.39 \pm 0.98$  cm y su altura de  $13.79 \pm 0.50$  cm.

Las distribuciones de frecuencia por tamaño tanto del diámetro máximo como de altura de las colonias de corales pétreos por región se presentan en la figura 6. De manera general, a pesar de que en todas las regiones se observaron colonias mayores a 200 cm de diámetro y 90 cm de altura, fueron las colonias de tamaño pequeño (0-10 cm) e intermedio (10-50 cm) las más abundantes en las cuatro regiones de estudio. Particularmente en la región del POT, esas categorías de talla se observaron en el 80.45% de las colonias en su diámetro y en el 98.98% de las colonias en su altura (figura 6A), en el GC se presentaron en el 80.49% de las colonias en su diámetro y el 98.09% de las colonias en su altura (figura 6B); en el GM fueron observadas en el 68.04% de las colonias en su diámetro y en el 86.48% de las colonias en su altura (figura 6C); y finalmente el CM se observaron en el 87.11% de las colonias en su diámetro y el 96.29% de las colonias en su altura (figura 6D). Cabe mencionar que el CM fue la región con el mayor porcentaje de colonias de tamaño pequeño a intermedio (~90%), no obstante también fue la única región que presentó colonias mayores a los 250 cm de diámetro y a los 210 cm de altura.

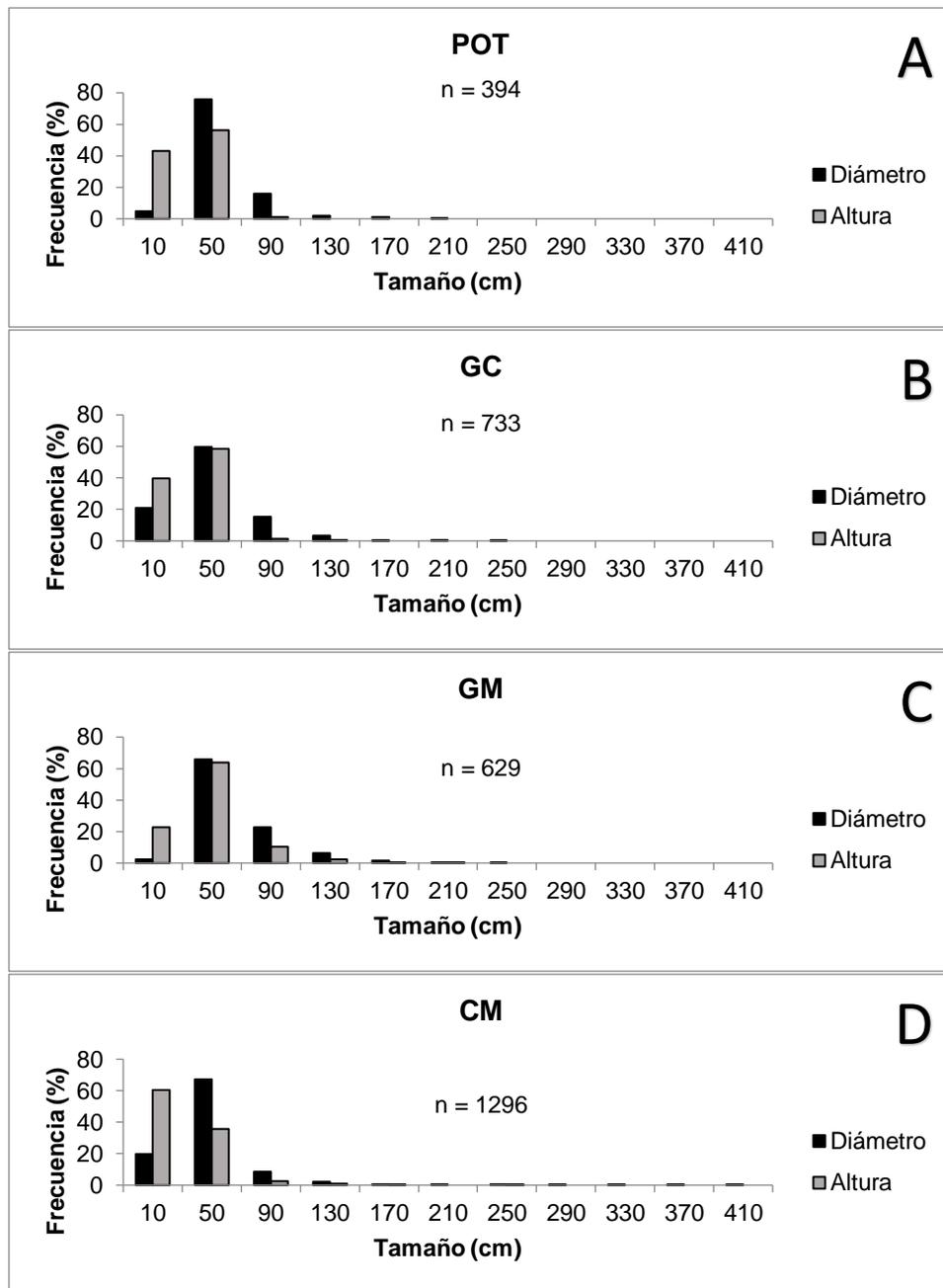


Figura 5. Distribución de frecuencias del diámetro y altura de colonias de corales pétreos en las cuatro regiones de estudio. A)- POT (n=48); B)- GC (n=47); C)- GM (n=44); y D)- CM (n=40).

### 3.1.4 Complejidad estructural del hábitat

El índice de Rugosidad (IR) presentó valores que van desde 1.0 indicando superficies prácticamente planas, hasta valores de 2.6 indicando superficies con alta complejidad estructural; sin embargo de manera general la estructura física del hábitat arrecifal en las cuatro regiones de estudio resultó ser poco compleja, presentando en su conjunto un IR de  $1.41 \pm 0.02$  ( $n=179$ ). Las distribuciones de frecuencia con los valores de este índice por transecto indicaron que el mayor porcentaje de observaciones se presentó en arrecifes con valores del IR entre 1.0 y 1.3, mientras que un bajo porcentaje de estos arrecifes presentaron valores del IR entre 2.2 y 2.5, a excepción de la región del CM donde los valores de IR estuvieron por debajo de 2.0 (figura 7).

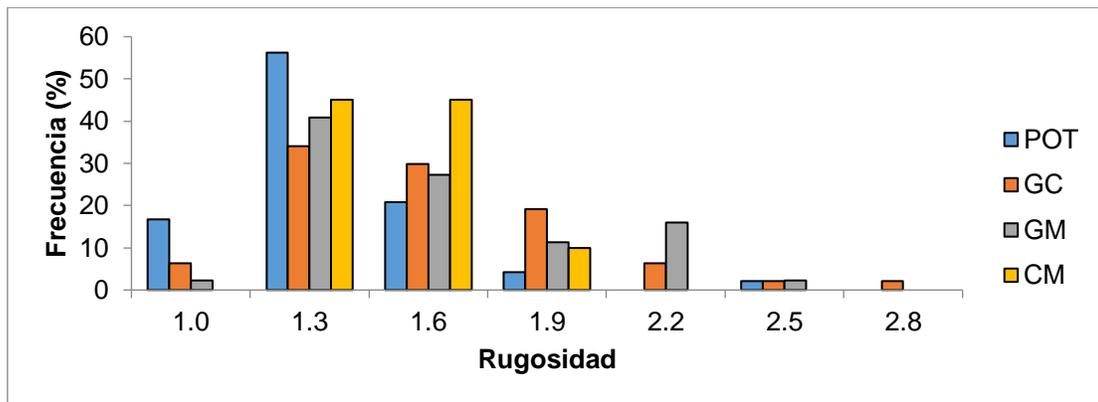


Figura 6. Distribución de frecuencias del Índice de Rugosidad arrecifal (IR) por región de estudio. A) -POT ( $n = 48$ ); B) -GC ( $n = 47$ ); C) -GM ( $n = 44$ ); y D) -CM ( $n = 40$ ).

Particularmente en la región del POT se encontró el valor promedio del IR más bajo ( $1.25 \pm 0.03$ ) respecto del resto de las regiones (más del 60% de los valores registrados se encontraron por debajo del promedio); mientras que en la región del GC se presentó un valor promedio más alto ( $1.52 \pm 0.05$ ). Por otra parte, en la región del GM se encontró un valor promedio del IR en  $1.51 \pm 0.05$ ; mientras que en la región del CM el promedio de este índice se situó en  $1.38 \pm 0.02$  con arrecifes menos complejos que el GM.

## 3.2 Estructura comunitaria de corales pétreos

### 3.2.1 Riqueza total, composición y abundancia relativa de corales pétreos

Se registró un total de 41 especies de corales pétreos pertenecientes a 23 géneros y 14 familias: 39 especies de escleractinios (Clase: Anthozoa, Orden: Scleractinia) y dos especies de hidrozoarios (Clase: Hydrozoa, Orden: Milleporina) en las cuatro regiones de estudio. En general en el Océano Pacífico hubo una riqueza de especies baja; en particular, el POT tuvo sólo 6 especies y mientras que en el GC se vieron 8 especies. La familia Pocilloporidae fue la que presentó el mayor número de especies. En la zona del Atlántico por el contrario, se encontró una mayor riqueza con 24 especies para el GM y 31 para el CM. Las familias sobresalientes fueron Agariicidae y Poritidae al presentar el mayor número de especies en tales regiones (anexo 4).

En la región del Pacífico la cobertura de corales pétreos estuvo constituida mayormente por especies del género *Pocillopora*. Particularmente, fue la especie *Pocillopora damicornis* (Linnaeus, 1758) las más abundante, pues contribuyó con el 60.56 % de la cobertura en arrecifes del POT y con el 71.81% del total de individuos en el GC (figura 9). Por otra parte, en el GM las especies de corales pétreos más abundantes fueron 7 (representando en conjunto el 81.67 % de la cobertura), la especie que sobresalió fue *Montastraea cavernosa* (Linnaeus, 1767) ya que esta representó el 20.36 % de la abundancia relativa encontrada para esta región. Finalmente en el CM la cobertura estuvo conformada principalmente por 10 especies (abarcando el 82.35% de la abundancia total) de las cuales destacó *Acropora palmata* (Lamarck, 1816) con el 13.88% de la cobertura total de individuos en la región (figura 9).

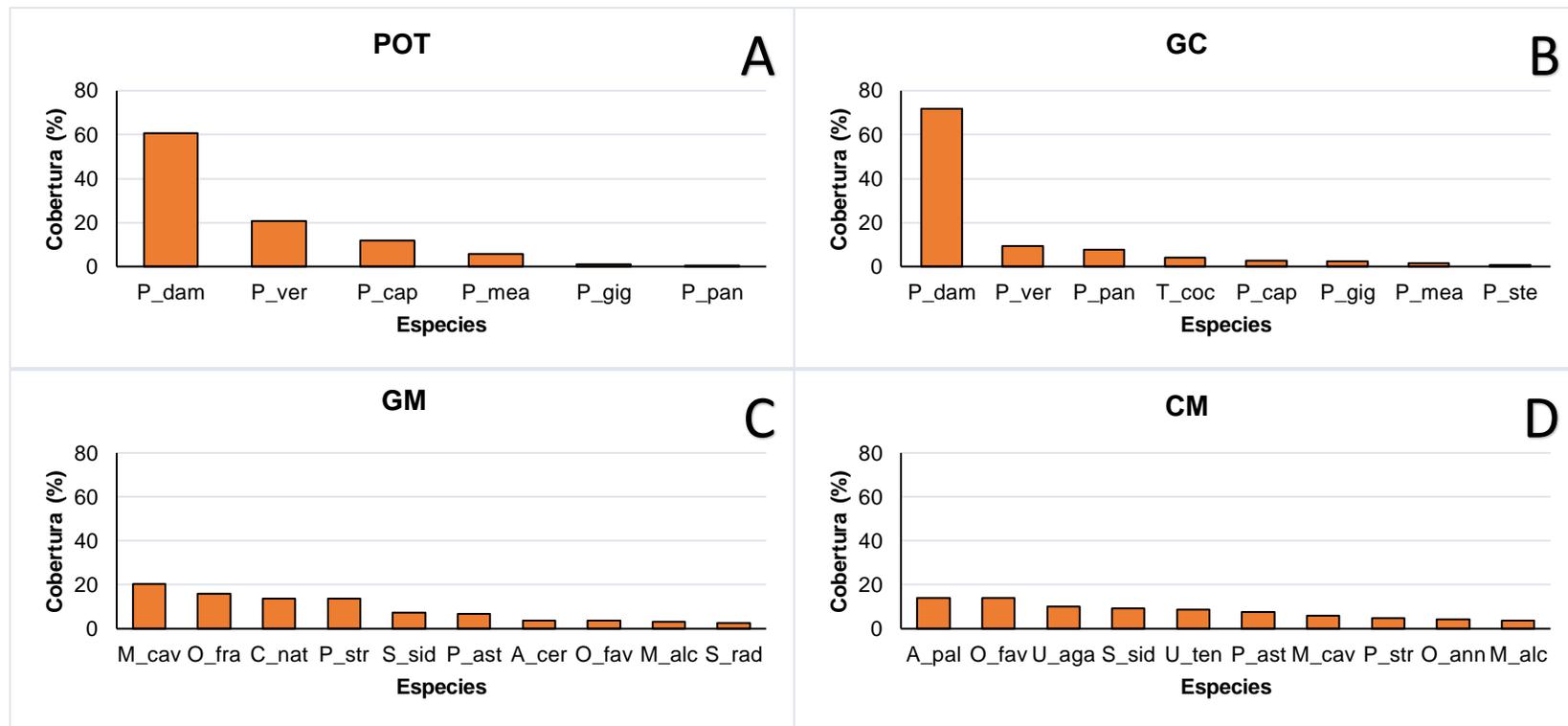


Figura 7. Abundancia relativa con las especies de corales pétreos que tuvieron mayor contribución a la cobertura coralina encontrada en las cuatro regiones de estudio. A) -POT (n = 48); B) -GC (n = 47); C) -GM (n = 44); y D) -CM (n = 40)

### 3.3. Estructura comunitaria de peces arrecifales

#### 3.3.1 Riqueza total, composición y abundancia relativa de ensamblajes de peces arrecifales

Con base en los censos visuales realizados en este estudio se registró un total de 180 especies de peces arrecifales en las cuatro regiones de interés: En los sitios pertenecientes a las regiones del POT y el GC se encontró una riqueza similar con 60 y 61 especies respectivamente. Por otra parte, en la región del GM se encontró el mayor número de especies de las cuatro regiones de estudio con 79, mientras que en la región del CM se encontraron 69 especies (anexo 5).

La abundancia total fue de 49,108 peces: 10,922 en la región del POT, 14,715 peces en el GC, 20,454 individuos en el GM y 3017 en el CM, siendo esta última región la que presentó la menor abundancia para este grupo. De manera particular, en la región del POT, las especies más abundantes fueron 8 (80.2% del total de la abundancia relativa), destaca *Thalassoma lucasanum*, porque representó el 37% del total de los peces de esta región (figura 12A). En el GC las especies que presentaron mayor abundancia fueron 7 (80.4% de la abundancia relativa); destaca *Chromis atrilobata*, porque los individuos reunieron el 18.9% de todos los peces en la región (figura 12B). Para la región del GM las especies más abundantes fueron 7 (82.9% de la abundancia relativa total) la especie que sobresale es *Coryphopterus personatus* ya que esta representó el 47.6% del total de individuos para la región (figura 12C). Finalmente, en el CM la abundancia estuvo conformada principalmente por 13 especies (80.2% de la abundancia relativa), de las cuales destaca *Thalassoma bifasciatum*, porque su abundancia representó el 18.5% respecto del total en esta región (Figura 12D).

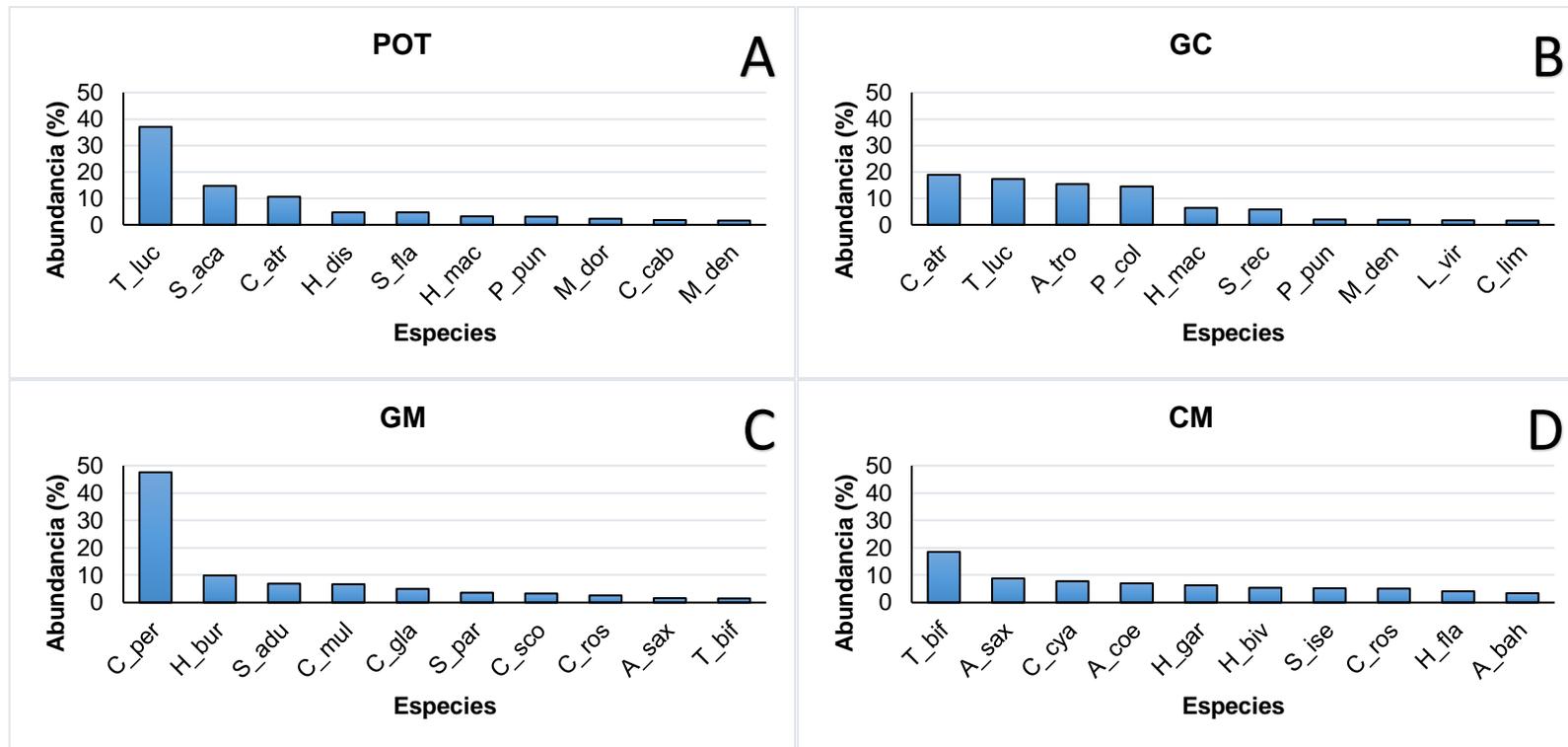


Figura 8. Abundancia relativa con las 10 especies de peces que tuvieron mayor contribución para este grupo en las cuatro regiones de estudio. A)- POT (n = 48); B)- GC (n = 47); C)- GM (n = 44); y D)- CM (n = 40).

### 3.4.1 Índices ecológicos de la comunidad de peces arrecifales

La tabla III muestra el valor promedio  $\pm$  error estándar obtenido de los índices ecológicos, Shannon-Wiener ( $H'$ ) y uniformidad de Pielou ( $J'$ ) por región de interés. Se encontró que la región con el valor promedio más alto de riqueza (S) y abundancia (N) fue el GM; mientras que los valores promedio más altos de diversidad de Shannon-Wiener y equidad de Pielou se encontraron en el CM.

Tabla III. Valores promedio  $\pm$  error estándar de los índices ecológicos riqueza de especies (S), abundancia (N), diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ) de la comunidad de peces por región de estudio.

| Región | S                | N                  | $H'$            | $J'$            |
|--------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| POT    | 13.35 $\pm$ 0.68 | 227.54 $\pm$ 27.98 | 1.52 $\pm$ 0.07 | 0.59 $\pm$ 0.02 |
| GC     | 15.76 $\pm$ 0.77 | 313.08 $\pm$ 26.14 | 1.55 $\pm$ 0.05 | 0.58 $\pm$ 0.01 |
| GM     | 18.22 $\pm$ 0.62 | 464.86 $\pm$ 58.35 | 1.63 $\pm$ 0.07 | 0.57 $\pm$ 0.02 |
| CM     | 15.05 $\pm$ 0.49 | 75.42 $\pm$ 5.29   | 2.15 $\pm$ 0.05 | 0.79 $\pm$ 0.01 |

### 3.4.2 Rasgos funcionales de peces arrecifales

El análisis de rasgos mostró que existe una tendencia relativamente similar en la proporción de los rasgos o características presentes en cada comunidad de peces arrecifales por región de estudio (figura 13). Por ejemplo, en cuanto a la talla se encontró que un porcentaje importante de las especies de peces (~40-60%) presentan tallas de rango medio (15.1-30 cm y 30.1-50 cm de longitud total), así como que más del 40% de los peces presentan movilidad media y cerca del 70% de las mismas presentan un periodo de actividad diurno en el cual se alimentan. Finalmente se observa claramente también que la mayoría de las especies (~60-70%) presenta hábitos benthicos.

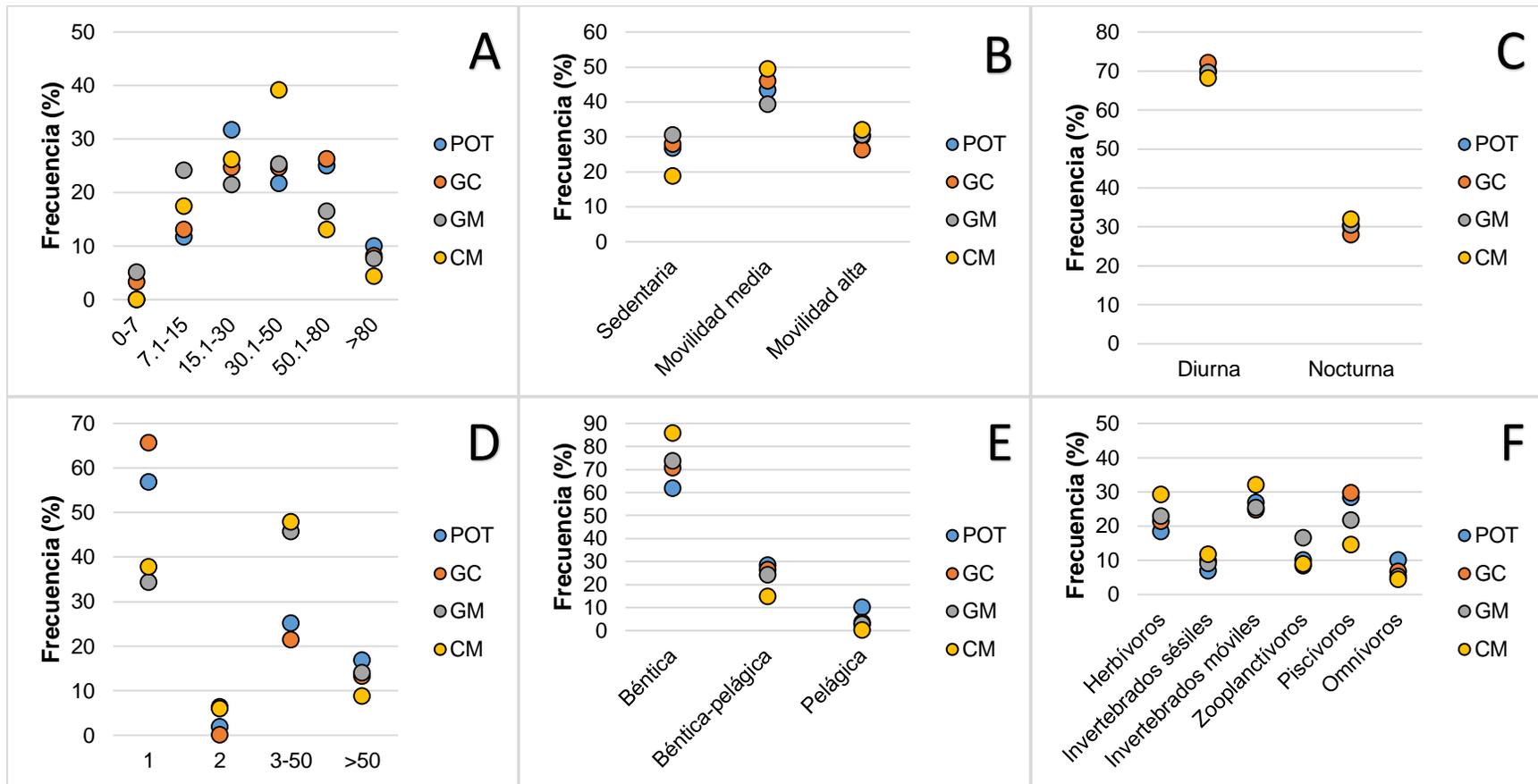


Figura 9. Rasgos funcionales empleados en el análisis de diversidad funcional de peces y su porcentaje de contribución en cada región de estudio. A)- Talla, B)- Movilidad, C)- Actividad, D)- Agrupamiento E) -Posición en la columna de agua, y F) -Dieta.

### 3.4.3 Índice de diversidad funcional

Se calculó el índice de diversidad funcional Q de Rao para cada región con las matrices de rasgos ícticos por especie (anexo 6) y sus abundancias relativas por transecto. Aunque los valores de este índice pueden encontrarse entre 0 y 1, el valor más bajo resultante para este estudio fue de 0.014 y el más alto de 0.251, lo cual indica un valor bajo de diversidad funcional de manera general para las cuatro regiones de interés.

Los resultados del Análisis de varianza multifactorial (anexo) indicaron que no se presentaron diferencias significativas entre los factores analizados ni en la interacción de los mismos (ningún valor de  $p < 0.05$ ) (figura 14). Lo anterior indica que ninguno de los factores o interacciones tiene un efecto sobre el índice de diversidad funcional Q de Rao.

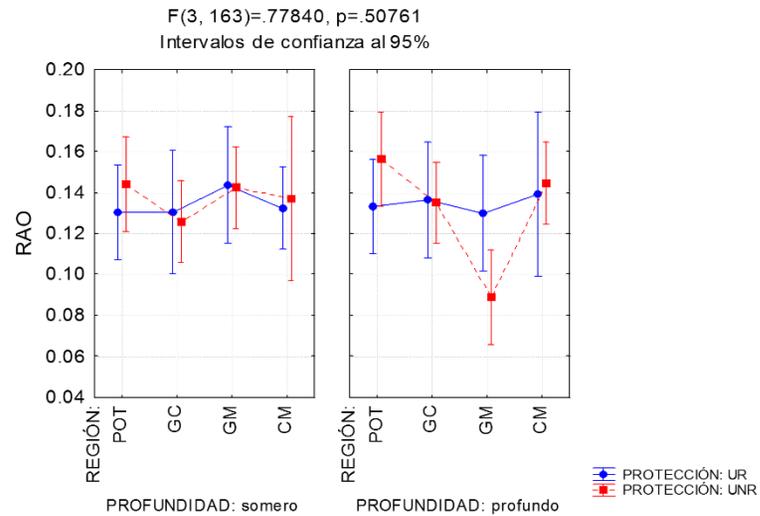
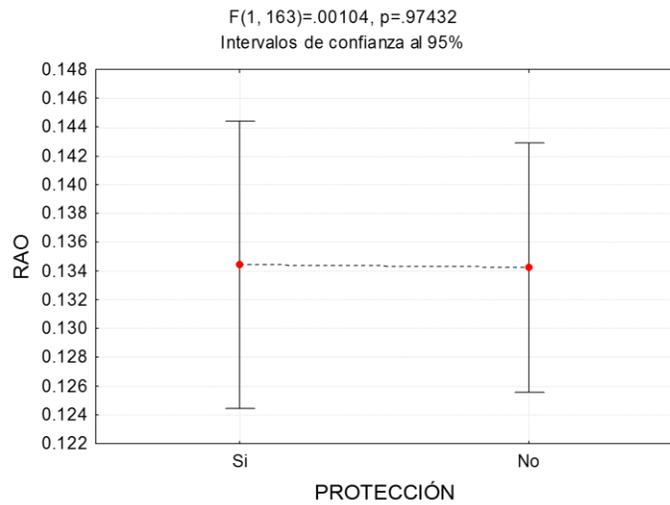
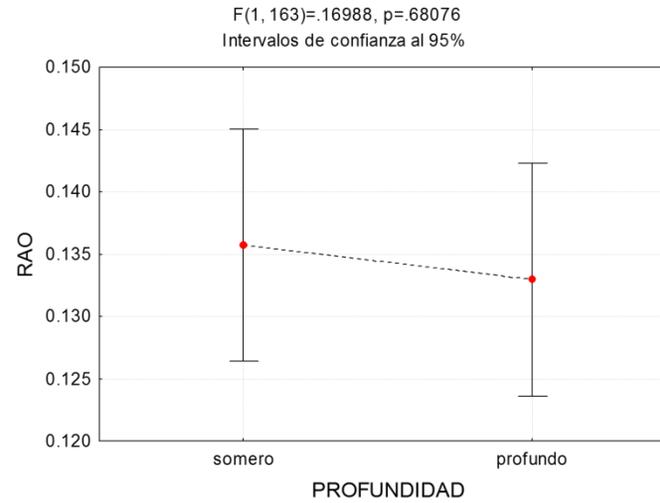
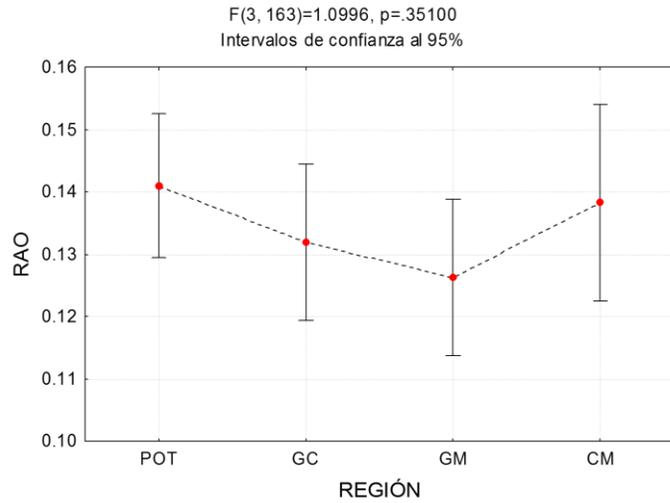


Figura 10. Análisis de varianza de 3 vías. Se muestran los factores por región (POT, GC, GM, CM); nivel de profundidad (somero, profundo); factor de protección (UR, UNR) así como la interacción región\*profundidad\*protección

Los resultados que determinaron si existe relación entre las características del sitio y su estructura comunitaria con la diversidad funcional, indicaron que dentro de la región del POT el índice de diversidad funcional Q de Rao tuvo una relación significativa (positiva) con el índice H' de la ictiofauna y con la profundidad (de manera negativa). Estos factores explicaron en conjunto el 53% de la varianza con un R<sup>2</sup> ajustado del modelo en 0.49. El índice J' de la ictiofauna fue otra variable incluida en el modelo para esta región, pero esta no fue significativa y sólo contribuyó con el 3% de la varianza.

En la región del GC el índice Q de Rao se relacionó de manera significativa (positivamente) con los índices H' y J' de la ictiofauna y también con el nivel de protección, aunque esta última no fue significativa. En total los factores incluidos en el modelo explicaron el 60% de la variación de los valores en Rao. El valor de R<sup>2</sup> ajustado para el modelo fue de 0.57 (tabla IV).

En el GM la diversidad funcional dada por el índice Q de Rao se relacionó significativamente (de forma positiva) con el índice H' de la ictiofauna y la cobertura de coral vivo (dada por corales pétreos), mientras que se observó un efecto negativo y significativo con la protección en esta región. Los otros factores incluidos en el modelo fueron la profundidad, la rugosidad y el número de colonias, los cuales no fueron significativos; sin embargo en total los factores incluidos en el modelo explicaron el 68% de la variación en la diversidad funcional de Rao con un valor de R<sup>2</sup> ajustado de 0.63.

Por último en el CM la diversidad funcional estuvo explicada principalmente por el índice H' de la ictiofauna presentando una relación positiva y significativa con esta variable y aportando con el 18% de la varianza. Otra variable incluida en el modelo fue la rugosidad, aunque ésta no fue significativa; no obstante ambas variables en su conjunto explicaron el 26% de la variación de los datos en Rao y presentaron un valor de R<sup>2</sup> ajustado de 0.22 (tabla IV).

Tabla IV. Resultados del análisis de regresión lineal múltiple para el índice de Rao.

| Región | Variable dependiente | Variables independientes | R <sup>2</sup> acumulada (%varianza explicada) | R <sup>2</sup> ajustada | Beta  | Valor-p |
|--------|----------------------|--------------------------|--|-------------------------|-------|---------|
| POT    | Índice de Rao        | H'                       | 0.419  | 0.499                   | 1.217 | 0.000*  |
|        |                      | Profundidad              | 0.507  |                         | -     | 0.008*  |
|        |                      | J'                       | 0.531  |                         | 0.332 | 0.142   |
|        |                      |                          |  |                         | -     | 0.425   |
| GC     | Índice de Rao        | H'                       | 0.523  | 0.574                   | 0.520 | 0.001*  |
|        |                      | J'                       | 0.569  |                         | 0.338 | 0.0262* |
|        |                      | Protección               | 0.601  |                         | 0.188 | 0.0664  |
| GM     | Índice de Rao        | H'                       | 0.480  | 0.631                   | 0.983 | 0.000*  |
|        |                      | Protección               | 0.580  |                         | -     | 0.002*  |
|        |                      | Profundidad              | 0.622  |                         | 0.312 | 0.698   |
|        |                      | Rugosidad                | 0.639  |                         | 0.067 | 0.110   |
|        |                      | % Coral                  | 0.658  |                         | 0.164 | 0.035*  |
|        |                      | # Colonias               | 0.682  |                         | 0.287 | 0.101   |
|        |                      | -                        | 0.220  |                         |       |         |
| CM     | Índice de Rao        | H'                       | 0.189  | 0.225                   | 0.480 | 0.001*  |
|        |                      | Rugosidad                | 0.265  |                         | 0.278 | 0.058   |

\*Los valores en rojo indican relaciones estadísticamente significativas ( $\alpha < 0.05$ )

## 4. Discusión

### 4.1 Las variables del sustrato

#### Cobertura de coral vivo y otros componentes del sustrato

En el presente estudio la cobertura relativa arrecifal presentó diferencias en cuanto diversidad de componentes que integraron el sustrato en cada región de interés. Dentro de la región del POT, los sitios presentaron una baja heterogeneidad del sustrato arrecifal, representados por siete diferentes tipos de sustrato (figura 4). A pesar de lo anterior, el 75% de la cobertura estuvo dominada por sólo 3 componentes: rocas cubiertas por algas filamentosas, corales pétreos y algas coralinas. Los arrecifes en la región del GC, representados por 11 tipos de sustrato indicando una heterogeneidad superior (figura 5); sin embargo, la cobertura relativa del PNZMAES estuvo dominada de igual forma por sólo 3 componentes: corales pétreos, rocas cubiertas por algas filamentosas y algas coralinas, los cuales representaron en conjunto casi 70% de la cobertura relativa del fondo.

Antes de que el PNH fuera decretado ANP, Glynn & Leyte (1997) encontraron que la mayoría de los arrecifes de Huatulco exhiben de alta (30-50%) a muy alta (60-90%) cobertura de coral vivo, y de acuerdo con ello durante el presente estudio se pudieron registrar sitios con coberturas promedio mayores al 70% dentro del PNH y mayores al 60% fuera del ANP. En aquellos sitios donde la cobertura de coral resultó ser baja, el fondo se encontró cubierto mayormente por algas filamentosas.

Por otra parte, los complejos sustratos rocosos a lo largo de las costas del GC presentan una gran variedad de habitats que incluyen paredes verticales, áreas con cantos rodados de diferentes tamaños, comunidades de coral negro, y camas de rodolitos al borde entre áreas rocosas y arenosas (Aburto-Oropeza & Balart, 2001). González-Medina y colaboradores (2006) indicaron que en Espíritu Santo las zonas que van de los 0 a 20 m se caracterizan por presentar sustrato rocoso (75%), arenoso, (14%) y depósitos coralinos (11%), lo que coincidió con los resultados de la presente tesis. Finalmente, al igual que en la región del POT, aquellos sitios que

presentaron bajos porcentajes de cobertura de corales pétreos se encontraban regularmente dominados por algas filamentosas.

Para la zona del GM y CM la heterogeneidad del sustrato fue más alta que en la zona del Pacífico, ya que se registraron 11 a 12 tipos de sustrato cubriendo el fondo arrecifal (figura 6). Aunque históricamente en casi todos los arrecifes GM y CM la cobertura de coral vivo ha disminuido (Lang, 1998); los resultados obtenidos para este estudio muestran que el sustrato en los sitios visitados de Veracruz estuvo conformado por coral vivo (~ 40% corales pétreos, mientras que en el CM llegó al 18%. Estos datos son congruentes con los de Carriquiry-Beltrán et al (2010) que muestran que en el Parque Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Cancún, Nizuc (PIMCN) y PNAPM la cobertura de coral presentó un promedio global de 19.3%; A nivel mesoescala, de acuerdo a los resultados obtenidos por el Programa de Monitoreo Sinóptico (PMS) del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) la cobertura de corales pétreos presenta un promedio global de 23.47%, con valores que van desde 11.12% hasta 49.95% de cobertura (García-Salgado *et al.*, 2006).

#### Formas de crecimiento en corales pétreos

Los sitios evaluados dentro del POT y el GC mostraron una clara dominancia de corales pétreos con formas de crecimiento ramificadas pertenecientes al género *Pocillopora*. Lo anterior coincide con lo reportado por Glynn & Leyte (1997) donde mencionan que Incluso para el POT, la característica monogénica de los arrecifes de Huatulco construida primariamente por sólo tres especies de *Pocillopora* (*P. verrucosa*, *P. capitata* y *P. damicornis*) es pronunciada en la región. Los autores reportan que las especies de pocillopóridos constituyen los constructores dominantes de la estructura arrecifal en el POT, no obstante otras especies incrustantes, nodulares y masivas están usualmente presentes (ej. *Porites panamensis* y *Pavona varians*).

Esta distribución de las especies por sus formas de crecimiento también se puede observar en arrecifes del GC aunque no hay estudios que midan directamente este cambio de zonación que sufren las especies en los sitios. Los arrecifes coralinos en el GC son escasos y no se encuentran completamente desarrollados; de hecho,

Reyes-Bonilla (2003) menciona que sólo hay 3 sitios donde se forman verdaderos arrecifes en la zona: Cabo Pulmo, San Gabriel (isla Espíritu Santo) y Bahía Chileno (Cabo San Lucas) los cuales son arrecifes con estructuras pequeñas (no mayores a 2 o 3 m) y construidas mayormente por corales con formas de crecimiento ramificado (*Pocilloporidae*) en ambientes someros (Reyes-Bonilla, 2003). Formas masivas (*Poritidae* y *Agaricidae*) son relativamente poco comunes en ambientes someros y no contribuyen con grandes cantidades de material calcáreo a la estructura arrecifal, pero son más abundantes en ambientes de 6-12 m de profundidad, estableciendo un patrón débil de zonificación de las especies (Reyes-Bonilla, 1993).

Por el contrario, los arrecifes en la región del GM estuvieron conformados casi en su totalidad por especies de crecimiento masivo (~90% de ocurrencia), de los géneros *Montastraea*, *Orbicella* y *Colpophyllia*, lo que coincide con las observaciones de Horta-Puga & Tello-Mussi, (2009). En la región del CM se encontró una combinación de formas de crecimiento coralino que incluyó especies masivas (*Orbicella* spp.), ramificadas (*Acropora* spp.) y laminares (*Agaricia* spp.). Darling y colaboradores (2012) mencionan que existe evidencia de que los cambios de las especies de corales escleractinios con historias de vida competitivas (ramificados como *Acropora* spp.) por especies tolerantes al estrés, oportunistas y generalistas (masivos, laminares, solitarios) como por ejemplo *Siderastrea*, *Montastraea*, *Orbicella* spp. ha ocurrido en arrecifes contemporáneos de la zona. Tras la pérdida de corales competitivos como los acropóridos en los arrecifes del Caribe en los años 70's, especies tolerantes al estrés y generalistas como *Montastraea* dominaron las comunidades hasta que las enfermedades, blanqueamiento y otros disturbios condujeron a la mortalidad de éstas y otras especies tolerantes al estrés (Álvarez-Filip *et al.*, 2011b). Actualmente, existe estudios que afirman que algunos arrecifes del Atlántico comienzan a ser dominados por especies oportunistas como *Agaricia* y *Porites* (Green *et al.*, 2008).

#### Tallas de colonias en corales pétreos

A pesar de que el número de colonias de corales pétreos fue diferente en cada región de estudio; el tamaño promedio de las mismas (diámetro máximo y altura en

cm) resultó relativamente similar. Particularmente entre las regiones del POT y GC el tamaño promedio de las colonias de corales pétreos no presentó grandes diferencias; sin embargo el número de colonias encontradas en el GC fue casi dos veces el encontrado en el POT. Lo anterior puede deberse a que en el GC se encontró un mayor porcentaje de colonias de diámetro pequeño (~20%) respecto de la región del POT (~4%) lo cual pudo facilitar el conteo y medición de las especies en los censos realizados en esta región. En los arrecifes del POT se presentaron tamaños más consistentes de colonias (~75% estuvieron bajo la misma categoría de diámetro y ~60% bajo la misma categoría de altura). En los arrecifes del GC en cambio, se pudieron observar sitios con una combinación de diferentes estructuras de tallas, sitios con colonias aisladas (baja densidad) y sitios con mayor porcentaje de formas de crecimiento masivas.

Al parecer no existen estudios que midan directamente los cambios que sufre la comunidad coralina del POT y GC a partir del número y tamaño de las colonias de corales pétreos presentes en cada zona; sin embargo se han realizado algunas evaluaciones del estado de condición arrecifal considerando esta variable en sistemas arrecifales del Golfo de Mexico y Caribe.

En los arrecifes del GM y CM se presentó una tendencia similar. El número de colonias encontradas en el CM fue el doble del registrado en el GM. Lo anterior se debe a que en los arrecifes del CM se encontró un mayor porcentaje de colonias de diámetro pequeño (~20%) respecto del GM (~2%) lo que aumento el número de colonias contadas. Por el contrario en el GM se encontró un mayor porcentaje de colonias de gran tamaño (>50 cm de diámetro máximo y altura) respecto al arrecife del CM. Otra razón se debe a la composición de especies de corales pétreos que integraron el sustrato en cada región; ya que en el GM hubo una clara dominancia de especies con crecimiento masivo (>90% de la cobertura) con un bajo porcentaje de otras formas de crecimiento lo que explica porque hay más colonias de gran tamaño en la región, mientras que en el CM hubo una proporción repartida de especies con formas de crecimiento masivas, laminares y ramificadas, las cuales pueden presentarse en diferentes categorías de talla. En consecuencia, una comunidad

coralina sana deberá presentar colonias con una talla promedio mayor, con respecto a una comunidad impactada, con una proporción mayor de colonias grandes (Horta-Puga & Tello-Musi, 2009).

La talla de corales pétreos por región encontrada en el presente estudio señala al GM como la región que presentó la talla promedio de colonias más grande, con 47.38 cm de diámetro y 28.38 cm de altura. De acuerdo a lo encontrado por Horta-Pugar & Tello-Musi (2009), la talla promedio de los corales del SAV es de 25.7 cm, sin embargo, los autores mencionan que la talla promedio en el SAV esta sesgada (más baja) debido a que la especie más abundante que registraron fue *Siderastrea radians* cuyas colonias en su gran mayoría son muy pequeñas. Carriquiry-Beltrán (2010) encontró que el diámetro promedio de las colonias en los arrecifes de la parte norte del Caribe Mexicano es de 26.75 cm y la altura de 13.08 cm. Particularmente encontraron que algunos arrecifes del PNAPM muestran un promedio de diámetro (~30 cm) y altura (~15 cm) de las colonias bastante parecido a lo encontrado en el presente estudio para esta región.

En los arrecifes de la región del Sistema Arrecifal Mesoamericano se registra un diámetro máximo promedio similar a los estudios anteriores con 33.52 cm. Horta-Puga & Tello-Musi afirman que en general los corales en el Caribe Mexicano son más grandes que en el SAV ya que por ejemplo Kramer (2003) reporta un promedio en el diámetro máximo de las colonias de coral de 71 cm; no obstante para la obtención de este promedio y en general para estudios basados en el protocolo de AGRRA sólo se toman en cuenta colonias iguales o mayores a 25 cm. La diferencia en el diámetro promedio de los estudios que reportan la talla de colonias de corales se puede explicar en gran parte por esta diferencia en el método.

#### Complejidad estructural del hábitat

Los arrecifes evaluados presentaron una estructura física del hábitat arrecifal poco compleja en general para las cuatro regiones de estudio. La complejidad estructural del hábitat tiene una gran influencia en la estructura de la comunidad. Cerca de la mitad de las especies de peces arrecifales presentó una relación

significativa con este y otros decriptores en sitios evaluados dentro del GC (Aburto-Oropeza & Balart 2001). Estos autores también encontraron que la rugosidad, el número y tamaño de rocas así como el porcentaje de diferentes tipos de sustrato puede tener efectos diferenciales sobre el comportamiento de los individuos, proporcionándoles refugio, alimentación, reproducción o reclutamiento.

Los arrecifes en la región del POT presentaron el valor promedio de rugosidad más bajo respecto del resto de las regiones. Lo anterior puede estar relacionado con las características relativamente homogéneas del sustrato presentes en la mayoría de los sitios analizados en este estudio, además de la dominancia de corales con formas de crecimiento ramificadas. Si bien se ha demostrado que la morfología de corales pétreos dominantes con formas ramificadas juegan un papel importante en la rugosidad de los arrecifes y en la estructura de ensamblajes de peces en arrecifes del Caribe (Alvarez-Filip *et al.*, 2009); en arrecifes del POT se ha encontrado que los corales masivos forjan una compleja arquitectura del arrecife que sostiene una comunidad de peces aún más diversa que los corales ramificados. Además los corales masivos pesar de su morfología simple exhiben una amplia gama de tallas (hasta 2 m de altura) que aumentan la complejidad del arrecife y ofrecen una diversidad de hábitats y recursos para las especies; no obstante, la preferencia hacia las estructuras de coral ramificadas o masivas depende de la talla de los peces y las preferencias tróficas (Palacios & Zapata, 2013).

Por otra parte, los ambientes arrecifales rocosos compuestos de parches coralinos en el GC diversifican la estructura y complejidad del hábitat (Conanp, 2007). En este sentido, el componente rocoso y otros tipos de sustrato encontrados en los sitios analizados dentro del GC para el presente estudio permitió encontrar valores de rugosidad más elevados que en los arrecifes analizados dentro del POT donde se encontraron ambientes poco complejos, dominados por comunidades coralinas ramificadas, con una topografía plana y simple formando una estructura monótona (Palacios & Zapata, 2013).

En sistemas arrecifales del GM y CM los resultados de rugosidad indicaron de igual forma arrecifes poco complejos. En estas regiones se ha documentado que la

complejidad estructural de los arrecifes de coral ha disminuido drásticamente en los últimos 40 años, teniendo como consecuencia arrecifes más planos (rugosidad menor a 1.5) los cuales representan el 75% del total de los arrecifes actualmente (Álvarez-Filip *et al.*, 2009). La disminución en la cobertura coralina en toda la región representa una pérdida en la calidad del hábitat y su complejidad estructural, pero esta última dependerá si los esqueletos de coral se erosionan rápidamente después de la muerte de los corales (Álvarez-Filip *et al.*, 2011a).

#### 4.2 Estructura comunitaria de corales pétreos

##### Riqueza total, composición y abundancia relativa de corales pétreos

La riqueza de corales pétreos encontrada en los arrecifes del POT resultó ser la más baja para este estudio. Los sitios evaluados en el PNH estuvieron representados por sólo seis especies de corales pétreos: cuatro del género *Pocillopora*; una al género *Pavona*; y otra al género *Porites*. Los resultados encontrados para la región en el presente estudio mostraron una evidente dominancia del género *Pocillopora* en sus arrecifes. En un estudio realizado por López-Pérez y colaboradores (2014), encontraron un número relativamente mayor de especies de corales pétreos en el PNH registrando 10 especies; seis de estas correspondieron al género *Pocillopora*, tres al género *Pavona* y sólo una al género *Porites*. Los autores también encontraron que *Pocillopora damicornis* y *P. verrucosa* resultaron ser las especies con mayor frecuencia, lo cual coincide con el presente estudio.

En cuanto a la riqueza de especies en el GC, los sitios evaluados en el PNZMAES presentaron ocho especies de corales pétreos: cuatro del género *Pocillopora*; y sólo una especie en los géneros *Pavona*, *Porites*, *Psammocora*, y *Tubastraea*. Al igual que en la región del POT, la mayor dominancia la ocuparon las especies pertenecientes al género *Pocillopora*. Reyes-Bonilla y colaboradores (2007) mencionan que en el PNZMAES, los corales pétreos están representados por nueve especies agrupadas en cinco géneros. Los autores reportan que las áreas con mayor cobertura de coral son San Gabriel, Roca Swany El Corralito y las Navajas, donde los arrecifes son del género *Pocillopora* son someros y se encuentran protegidos.

Cabe mencionar que la riqueza de corales pétreos del PNZMAES es equiparable sólo por detrás de la riqueza registrada en el Parque Nacional Cabo Pulmo (PNCP) el cual presenta la cobertura coralina más extensa en el GC ya que se tiene registro de 11 de las 14 especies de corales petreos registrados para el Golfo (Conanp, 2006).

Los sistemas arrecifales del GM, registraron un total de 24 especies de corales pétreos en la zona. Las especies más importantes en términos de cobertura fueron las pertenecientes a los géneros *Montastraea* y *Orbicella*. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Horta-Puga & Tello-Musi (2009) donde reportaron la presencia de 26 especies de corales pétreos en el SAV; siendo los géneros *Colpophyllia*, *Orbicella* y *Montastraea* los que presentaron la mayor cobertura de manera global en los sitios.

Por otra parte, de acuerdo al estudio previo justificativo del PNSAV (Conanp, 2011), los arrecifes de esta zona están representados por 52 especies de corales pétreos, un número relativamente superior al encontrado en el presente estudio; sin embargo, esto probablemente se deba a que esta riqueza fue encontrada con base en el estudio de los 23 sistemas arrecifales presentes que conforman el SAV y en el presente estudio sólo se visitaron 11 sitios.

En los arrecifes del CM, se registró un mayor número de especies comparado con la región del GM, con un total de 31 especies de corales pétreos. Las especies más importantes en términos de cobertura fueron las pertenecientes a los géneros *Acropora* y *Orbicella*. El programa de manejo del PNAPM reportó la presencia de 41 especies de corales pétreos distribuidos en los diversos ambientes que compone el perfil batimétrico de estos arrecifes en la zona.

#### 4.3. Estructura comunitaria de peces arrecifales

##### Riqueza total, composición y abundancia relativa de peces arrecifales

Se encontró un total de 60 especies en los sitios analizados dentro de la región del POT. Las especies dominantes fueron aquellas de talla pequeña y

crecimiento rápido (familias Labridae y Pomacentridae). Este número de especies resulta bajo comparado con lo encontrado por Lopez-Pérez y colaboradores (2014) quienes registraron dentro de los límites del PNH la presencia de 150 especies de peces, 11 de la clase Elasmobranchii y 139 de la clase Actinopterygii. Sin embargo para encontrar esta composición de peces, los autores utilizaron métodos de Transectos en banda (20 x 5 m), cilindros estacionarios (5 m de diámetro) y recorridos errantes en los sitios.

Por otra parte, los peces son uno de los grupos de vertebrados con mayor diversidad de especies en el PNZMAES. En el presente estudio, se registró un total de 61 especies de peces en los sitios dentro y fuera del PNZMAES, sin embargo en las zonas arrecifales del ANP se tiene registro de 121 especies (Aburto-Oropeza & Balart, 2001; Reyes-Bonilla *et al.*, 2007) aunque la metodología empleada para llegar a ese número no corresponde únicamente a la de transectos de banda como en el caso de este estudio. Los Islotes (zona núcleo del parque) es la zona de mayor riqueza de peces arrecifales (74 especies) y las familias mejor representadas son: Serranidae, Labridae, Pomacentridae, Lutjanidae, Haemulidae y Scaridae (Aburto-Oropeza & Balart, 2001). Esto coincide con lo encontrado para este estudio ya que las familias más importantes fueron de igual forma Pomacentridae, Labridae y Serranidae. En general, la estructura comunitaria de los peces tiende a ser espacialmente homogénea, pero las zonas noreste y norte del parque nacional presentan comunidades de peces más ricas y complejas (Reyes-Bonilla *et al.*, 2007).

La composición de especies encontrada en ambas regiones resulta similar en otros arrecifes de la zona. Álvarez-Filip y colaboradores (2006) registraron un total de 62 especies de peces en Cabo Pulmo en el GC, siendo las más abundantes *Thalassoma lucasanum* y *Chromis atrilobata* pertenecientes a las familias Labridae y Pomacentridae. En otro estudio realizado en Isla San José se encontró un mayor número de especies con 112 registros, aunque las familias con más especies resultaron ser también Serranidae, Labridae y Pomacentridae (Barjau *et al.*, 2011). Asimismo, Galva-Villa y colaboradores (2010) registraron un total de 118 especies en

sitios evaluados alrededor de Isla Santa Isabel donde las familias mejor representadas fueron Labridae y Pomacentridae.

En los sistemas del Atlántico se tiene registro de un mayor número de especies. En la región del GM por ejemplo se registraron 79 especies de peces en los sitios anaizados por el presente estudio. Las familias más representativas en la región fueron Pomacentridae y Haemulidae. Autoridades del parque en el PNSAV tienen registro de 258 especies de peces (Conanp, 2011); no obstante en un estudio más reciente en el que se hizo una revisión más completa para este grupo se registró un total de 387 especies (incluyendo tanto elasmobranchios como peces óseos), por lo que este constituye el listado íctico más completo del SAV (Del Moral-Flores *et al.*, 2013). Si bien este número de especies es mayor al reportado en otros sistemas arrecifales del Golfo de México como arrecife Alacranes con 279 especies (González-Gándara & Arias-González, 2001); arrecife Tuxpan con 127 especies (González-Gándara & Gonzalez-Sansón, 1997) isla Lobos con 130 especies (castro-Aguirre y Marquez-Espinosa, 1981); cayo Arenas y arrecife Triángulos Oeste con 116 especies (Vargas-Hernández & Carrera-Parra, 1998); la diferencia observada puede deberse tanto al tipo, cobertura y diversidad de hábitats presentes en cada sistema arrecifal como a los métodos empleados en la obtención de los datos.

En el caso de la región del CM se obtuvo un total de 69 especies de peces en los sitios analizados por el presente estudio, una riqueza inferior a la encontrada para los sitios analizados en el GM. A pesar de lo anterior, las familias más representativas en la región al igual que en el GM fueron Haemulidae y Pomacentridae. A pesar de que se encontró una riqueza de especies menor que en el SAV, se ha documentado que la diversidad ictiológica de este sistema es comparativamente menor a la registrada en el Caribe mexicano donde se reporta la presencia de 577 especies de peces (Schmitter-Soto *et al.*, 2000). Esto se debe en principio a su menor área, ya que se ha demostrado que en el Caribe existe una relación entre el área y el número de especies de peces (Sandin *et al.*, 2008); además del gradiente latitudinal, hidrológico y la profundidad de la zona (Bouchon-Navarro *et al.*, 2005). Además el

SAV presenta una baja conectividad con los arrecifes del Caribe debido en parte a la presencia de ríos (Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003).

#### 4.4 Diversidad funcional de los ensamblajes de peces arrecifales

La mayoría de los estudios que han analizado medidas de diversidad funcional en peces han sido a escala regional (ej. Caribe, Indo-Pacífico) y global realizando comparaciones entre comunidades mediante el uso ya sea de grupos funcionales (conjuntos de especies que comparten ciertas características); o de índices como la riqueza, equidad o divergencia funcional (representados como el volumen ocupado por las especies en un espacio multidimensional); o incluso estimando el grado de redundancia funcional en análisis de agrupamiento; sin embargo, es complicado comparar los resultados de estos estudios debido a las diferentes metodologías empleadas en su análisis.

Particularmente en nuestro país se han realizado muy pocos estudios al respecto y estos se encuentran limitados a la zona del Pacífico mexicano. De las pocas investigaciones que se han llevado en peces de sistemas arrecifales se encuentran: el de Álvarez-Filip & Reyes-Bonilla (2006) quienes evaluaron la estructura comunitaria y diversidad funcional de peces en el Parque Nacional Cabo Pulmo para el Golfo de California; el de Aguilar-Medrano & Calderón-Aguilera (2015) quienes evaluaron cuatro zonas dentro del Pacífico Oriental de México mediante análisis morfométricos y eco-morfológicos de especies de peces arrecifales; y el de Ramírez-Ortiz y colaboradores (2017) donde se evaluó la diversidad funcional de peces e invertebrados en sistemas arrecifales del Pacífico Oriental Tropical a través de la construcción de dendogramas con grupos morfo-funcionales para ambas faunas. Estos trabajos han encontrado resultados relevantes en el campo de estudio, no obstante otro inconveniente al momento de querer compararlos es que además de sus metodologías son distintas, la selección de diferentes tipos de rasgos o características funcionales de las especies van encaminados a contestar diferentes aspectos relacionados con la función del ecosistema, por lo que hasta ahora no existe un consenso o una forma única de evaluar esta temática.

Alvarez-Filip & Reyes-Bonilla (2006) por su parte analizaron la estructura comunitaria y diversidad funcional de peces en Cabo Pulmo entre 1987 y 2003 mediante el uso de grupos funcionales y análisis de ordenamiento. Los rasgos funcionales empleados en su análisis incluyeron: el nivel trófico, tipo de huevo, logitud total del pez, relación entre la longitud de la maxila y la cabeza, forma de la aleta caudal, relación entre a longitud estándar y la altura del cuerpo, residencia y su posición en la columna de agua. Los autores encontraron que aunque la estructura comunitaria cambió entre 1987 y 2003, la diversidad taxonómica y funcional no lo hizo, lo que atribuyen que se pueda deber al relativo alto grado de redundancia funcional en esta comunidad.

Aguilar-Medrano & Calderón-Aguilar (2015) también mencionan que los arrecifes del Pacífico oriental de México presentan un alto grado de redundancia ecológica (la mayoría de los grupos están compuestos por varias especies); aunque los rasgos empleados para su análisis incluyeron datos merísticos y morfométricos de los peces logrando llegar a conclusiones relativamente similares pese a la utilización de métodos y rasgos funcionales distintos. Otro dato interesante es que ambos estudios encontraron 6 grupos tróficos en sus comunidades ícticas, lo que de igual forma coincide con el número de grupos tróficos encontrados para el presente estudio, aunque sólo fuera uno de los rasgos empleados para nuestro análisis. Si bien aquí no calculamos el grado de redundancia funcional de las regiones de interés, pudimos observar que la región del POT presentó los valores más altos de diversidad funcional de Rao, con lo que podemos tener una idea de que al menos el valor de este índice es elevado comparado con el resto de las regiones de interés.

La pregunta que encaminó el desarrollo de este trabajo fue saber si existe relación entre las características de cada arrecife (dadas por su complejidad estructural del hábitat, cobertura y número de colonias de corales pétreos) nivel de profundidad (arrecife somero y profundo); grado de protección (zona de uso restringido y zona de uso no restringido) y estructura comunitaria de ensamblajes de peces (riqueza específica, diversidad de Shannon-Wiener, equidad de Pielou) con el valor de la diversidad funcional de peces calculado con base en el índice de Rao en

diferentes localidades/regiones de México. Como análisis previo se demostró que el índice de diversidad funcional de Q de Rao no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las diferentes regiones analizadas ni entre niveles de profundidad o grado de protección de los sitios. Sin embargo, se encontraron relaciones significativas entre algunas de las variables introducidas a los modelos de regresión lineal múltiple con los valores de Rao por región de interés.

Es importante señalar que las variables o coeficientes que ayudaron a explicar un porcentaje de la variación de los datos de Rao en el modelo de regresión no son independientes entre sí, ya que el valor concreto estimado para cada coeficiente se ajusta teniendo en cuenta la presencia del resto de las variables independientes (Merino & Díaz, 2006). En este sentido, aunque se observó que el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) fue una de las variables independientes más importantes de los modelos ya que se relacionó positiva y significativamente con la diversidad funcional de Rao en cada una de las regiones de estudio, ésta no fue la única que explicó la variación de los valores del índice en el modelo.

Por otro lado, aunque el cálculo matemático de  $H'$  y Rao sean diferentes, ambos índices consideran tanto el número de especies presentes en la comunidad como la abundancia relativa de cada una, por lo que estos podrían estar mostrando una tendencia relativamente similar en términos de función ecológica de las especies lo cual podría explicar como el aumento en una unidad de  $H'$  se relaciona con un aumento en Rao. Particularmente, en los sistemas arrecifales del POT además del índice  $H'$ , la profundidad fue otra de las variables que se relacionaron significativamente con este índice aunque de manera negativa, mientras que en el GC además del índice de Shannon-Wiener fue índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) uno de los que se relacionó significativa y positivamente con los valores obtenidos de Rao. Al parecer el resto de las variables incluidas en el análisis (ej. rugosidad, cobertura de corales pétreos, número de colonias) no fueron importantes para el modelo o al menos no presentaron una relación lineal con la diversidad funcional de Rao en estas regiones.

Álvarez-Filip & Reyes-Bonilla (2006) encontraron en Cabo Pulmo una comunidad íctica funcionalmente estable a pesar de los niveles bajos de cobertura coralina en la zona. Asimismo, Aguilar-Medrano & Calderón-Aguilera (2015) encontraron los niveles de diversidad más altos en aquellos sitios con menor cobertura de coral vivo y llegaron a la conclusión con esto de que las comunidades de peces del Pacífico Oriental de México usan los arrecifes coralinos y rocosos indiscriminadamente como un recurso estructural. Además mencionan que los arrecifes en otras regiones como el Caribe o Indo-Pacífico al tener mayor diversidad de corales que los arrecifes del Pacífico oriental sugiere que los peces de esas áreas son más dependientes del coral en comparación con los peces del Pacífico oriental quienes no necesariamente dependen del coral para sobrevivir, favoreciendo su persistencia y estabilidad a pesar de la pérdida de cobertura.

Los resultados de nuestro modelo encontrados para el GM y CM de alguna forma corroboran lo mencionado anteriormente por estos autores, ya que particularmente en los sitios evaluados en el GM, además del índice  $H'$ , el factor de protección de los sitios y el porcentaje de cobertura de corales pétreos presentaron una relación significativa con el índice de diversidad de Rao. Otras variables que aportaron al modelo en la región fueron la profundidad, la rugosidad y el número de colonias. Mientras que en los sitios evaluados del CM además del índice  $H'$ , la rugosidad fue una variable que aportó al modelo aunque no se relacionó de manera significativa con el índice de Rao.

Lo anterior puede deberse a que los sitios en la región del GM registraron porcentajes más altos de cobertura de corales pétreos, valores superiores en el índice de rugosidad, una proporción de colonias de mayor talla y una riqueza más alta de peces respecto a los sitios evaluados en el CM. Algo que llama la atención es que el factor de protección presentó una relación significativa y negativa con el índice de Rao en arrecifes del GM, lo que pudiera deberse a que la protección de las zonas de UR del PNSAV los conviertan en sistemas con características importantes desde un punto de vista funcional. Estos sistemas se ubican en la zona sur del polígono alejados de los arrecifes frente al desarrollo costero de la ciudad de Veracruz y son

dos subzonas de protección denominados Santiaguillo y Blanca. El primer sistema se caracteriza por ser uno de los más alejados de la costa (~20 km) y por presentar parches de coral *Acropora palmata* y *A. cervicornis* ambas especies en protección especial por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, además cuenta con la presencia de las tallas más grandes del Parque Nacional con colonias de corales masivos de *Montastraea cavernosa* y *Orbicella faveolata* las cuales presentan diámetros de más de 3 metros. El segundo sistema se caracteriza por tener una cobertura de coral vivo importante (27.14%) pese a su cercanía a la costa y a la influencia del río Jamapa. Cuenta con la presencia de especies de corales blandos y corales pétreos incluidos en la NOM-059-SEMARNAT-2010 además de la densidad más alta de corales escleractinios de todo el parque (3.65 colonias por metro cuadrado) con colonias de corales masivos de *Colpophyllia natans*, *Montastraea cavernosa* y *Orbicella faveolata* (Conanp, 2011).

En los arrecifes del CM no se encontró relación significativa con las variables que si fueron importantes en el GM. Por ejemplo para el caso del factor de protección de los sitios, el diseño de zonificación del PNAPM ubica las zonas de UR a lo largo de la zonas de rompiente (cresta arrecifal) las cuales estan caracterizadas por ser arrecifes someros y formados por especies ramificadas como *Acropora palmata*. Sin embargo, las zonas de UNR del parque se encuentran alrededor de las zonas de UR y se caracterizan por ser zonas de uso recreativo y de uso pesquero concesionado a la sociedad cooperativa de producción pesquera de Puerto Morelos, la cual no está contemplada por los mismos pescadores para tener restricciones de pesca, excepto las que señalen las disposiciones legales aplicables en la materia (Conanp, 2000). Esto puede estar generando una falta de control en el manejo de los sitios (ej. algunas especies de peces presentan diferentes grados de movilidad dentro del arrecife o entre arrecifes).

Por otra parte, los niveles bajos de rugosidad pudieran estar relacionados con la composición de especies y con sus formas de crecimiento, ya que estos sitios se compusieron de una combinación de corales pétreos con formas ramificadas, masivas y laminares. Este cambio en la composición de especies de arrecifes con

formas ramificadas por especies con tolerantes al estrés (formas masivas) y oportunistas (formas laminares) ha sido documentada en el Caribe (Aroson *et al.*, 2004; Green *et al.*, 2008; Darling *et al.*, 2012) y puede ser la causa del “aplanamiento” de estos ecosistemas con la consecuente pérdida de funcionalidad que proveen los arrecifes estructuralmente complejos (Álvarez-Filip *et al.*, 2009; Álvarez-Filip *et al.*, 2011b).

## 5. Conclusiones

1. La región del GM presentó el valor más alto de cobertura promedio de coral vivo en el presente estudio, mientras que la cobertura promedio más baja de este grupo fue observada en los arrecifes que conformaron la región del GC.
2. Los arrecifes del POT y GC se caracterizaron por presentar un sustrato poco heterogéneo al estar siendo dominados por sólo tres componentes en comparación con los arrecifes del Atlántico (GM y CM) quienes presentaron una mayor cantidad de elementos distribuidos cubriendo el fondo.
3. La región del CM presentó la mayor abundancia de colonias respecto del resto de las zonas evaluadas, sin embargo también fue la región con el mayor porcentaje de tallas pequeñas comparado con el GM que presentó los corales de mayor talla.
4. Más del 90% de las colonias de coral en las regiones del POT y GC presentaron formas de crecimiento ramificadas, contrario al GM, donde dominaron los corales con formas masivas, mientras que en el CM se presentó una mejor proporción de las formas de crecimiento coralino.
5. La complejidad estructural de los arrecifes en las cuatro regiones de estudio resultó ser poco compleja, con un promedio de rugosidad menor a 1.5
6. De manera general, la diversidad funcional de Rao fue baja en las cuatro regiones de estudio, sin embargo la región del POT presentó el valor más alto de este índice mientras que el CM presentó la diversidad funcional más baja.
7. No se presentaron diferencias significativas con la diversidad funcional de Rao entre regiones, profundidad, nivel de protección ni en la interacción con estos factores.
8. Con los resultados obtenidos en el modelo, no existe un patrón generalizado de que relacione las características geomorfológicas del sustrato arrecifal y su estructura comunitaria con la diversidad funcional de sus ensamblajes en las cuatro regiones evaluadas de México de la misma manera, sin embargo el índice  $H'$  de la ictiofauna fue la única variable que se relacionó positiva y significativamente con la diversidad funcional de Rao en las cuatro regiones de interés.

## Recomendaciones

1. Es importante que la diversidad funcional se mida en términos de caracteres que se piensen son importantes en la ecología del grupo a evaluar y en la función que cumplen sobre el ecosistema para que la interpretación de los resultados sea lo más sencilla posible.
2. Las políticas de conservación actuales se centran en los patrones de riqueza de especies sin considerar otros parámetros o características que puedan conducir a la gestión y conservación de los servicios ecosistémicos que se pretenden proteger.
3. Considerar medidas de diversidad funcional aporta información complementaria a los análisis ecológicos tradicionales existentes, ya que este tipo de análisis suelen ir más allá que la simple pérdida o adición de especies en un ecosistema.
4. Conocer detalladamente las relaciones entre los peces y el hábitat ayudará de manera importante el desarrollo de mejores estrategias de manejo y conservación de los recursos marinos en zonas costeras e insulares de México.
5. Es necesario considerar estudios temporales que muestren con mayor claridad los cambios que ha sufrido la comunidad en términos de su estructura y composición funcional a través del tiempo, mediante series de tiempo y datos de perturbaciones naturales (como ciclones tropicales, eventos ENSO) y antropogénicas (introducción de especies, desarrollo costero).

## 6. Referencias

- Aburto-Oropeza, O., & Balart, E. F. (2001). Community structure of reef fish in several habitats of a rocky reef in the Gulf of California. *Marine Ecology*, 22(4), 283-305.
- Adam, T. C., Kelley, M., Ruttenberg, B. I., & Burkepile, D. E. (2015). Resource partitioning along multiple niche axes drives functional diversity in parrotfishes on Caribbean coral reefs. *Oecologia*, 179(4), 1173-1185.
- Aguilar-Medrano, R., & Calderon-Aguilera, L. E. (2015). Redundancy and diversity of functional reef fish groups of the Mexican Eastern Pacific. *Marine ecology*, 37(1), 119-133.
- Alcolado, P. M. (2004). Manual de capacitación para el monitoreo voluntario de alerta temprana en arrecifes coralinos. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Proyecto (Agencia de Medio Ambiente), PNUD/GEF Sabana-Camagüey, Instituto de Oceanología y MINTUR. La Habana, Cuba.
- Almada-Villela, P. C., Sale, P. F., Gold-Bouchot, G., & Kjerfve, B. (2003). Manual of methods for the MBRS synoptic monitoring program. Selected Methods for Monitoring Physical and Biological Parameters for Use in the Mesoamerican Region. 155p.
- Almany, G. R. (2004). Differential effects of habitat complexity, predators and competitors on abundance of juvenile and adult coral reef fishes. *Oecologia*, 141(1), 105-113.
- Alvarez-Filip, L., & Reyes-Bonilla, H. (2006). Comparison of community structure and functional diversity of fishes at Cabo Pulmo coral reef, western Mexico between 1987 and 2003. In *Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium* (Vol. 2, pp. 16-225).
- Alvarez-Filip, L.; Dulvy, N.K.; Gill, J.A.; Cote, I.M.; Watkinson, A.R. (2009). Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. *Proceedings of the Royal Society B*. 0339: 1-7.

- Alvarez-Filip, L., Cote, I. M., Gill, J. A., Watkinson, A. R., & Dulvy, N. K. (2011a). Region-wide temporal and spatial variation in Caribbean reef architecture: is coral cover the whole story?. *Global Change Biology*, 17(7), 2470-2477.
- Álvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Côté, I. M., Watkinson, A. R., & Gill, J. A. (2011b). Coral identity underpins architectural complexity on Caribbean reefs. *Ecological Applications*, 21(6), 2223-2231.
- Álvarez-Filip, L., Gill, J. A., & Dulvy, N. K. (2011c). Complex reef architecture supports more small-bodied fishes and longer food chains on Caribbean reefs. *Ecosphere*, 2(10), art118.
- Álvarez-Filip, L., Gill, J. A., Dulvy, N. K., Perry, A. L., Watkinson, A. R., & Côté, I. M. (2011). Drivers of region-wide declines in architectural complexity on Caribbean reefs. *Coral Reefs*, 30(4), 1051.
- Álvarez-Filip, L., Carricart-Ganivet, J. P., Horta-Puga, G., & Iglesias-Prieto, R. (2013). Shifts in coral-assemblage composition do not ensure persistence of reef functionality. *Scientific reports*, 3.
- Aronson, R. B., Macintyre, I. G., Wapnick, C. M., & O'Neill, M. W. (2004). Phase shifts, alternative states, and the unprecedented convergence of two reef systems. *Ecology*, 85(7), 1876-1891.
- Baynes, T. W. (1999). Factors structuring a subtidal encrusting community in the southern Gulf of California. *Bulletin of Marine Science*, 64(3), 419-450.
- Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., & Nyström, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429(6994), 827-833.
- Bellwood, D. R., Hughes, T. P., & Hoey, A. S. (2006). Sleeping functional group drives coral-reef recovery. *Current Biology*, 16(24), 2434-2439
- Blackwood, J. C., Hastings, A., & Mumby, P. J. (2011). A model-based approach to determine the long-term effects of multiple interacting stressors on coral reefs. *Ecological Applications*, 21(7), 2722-2733.

- Botta-Dukát, Z. (2005). Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of vegetation science*, 16(5), 533-540.
- Bouchon-Navaro, Y., Bouchon, C., Louis, M., & Legendre, P. (2005). Biogeographic patterns of coastal fish assemblages in the West Indies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 315(1), 31-47.
- Bozec, Y. M., Alvarez-Filip, L., & Mumby, P. J. (2014). The dynamics of architectural complexity on coral reefs under climate change. *Global change biology*, 21(1), 223-235.
- Burke, L., & Maidens, J. (2005). Arrecifes en peligro en el Caribe Reef at risk in the caribbean (No. 333.9553 B959). World Resources Institute, Washington, DC (EUA).
- Cadotte, M. W. (2011). The new diversity: management gains through insights into the functional diversity of communities. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1067-1069.
- Cadotte, M. W., Carscadden, K., & Mirotchnick, N. (2011). Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of applied ecology*, 48(5), 1079-1087.
- Carricart-Ganivet, J. P., & Horta-Puga, G. (1993). Arrecifes de coral en México. *Biodiversidad marina y costera de México*, 81-92.
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Serie técnica, Informe técnico, 384.
- Castro-Aguirre, J. L., Márquez Espinoza, A., & José Luis Castro-Aguirre, A. M. (1981). Contribución al conocimiento de la ictiofauna de la Isla de Lobos y zonas adyacentes, Veracruz México (No. QL 629. V4. C37).
- Clarke K R, W. (2001). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2 nd Edition. (PRIMER-E Ltd: Plymouth, United Kingdom.).
- Claverie, T., & Wainwright, P. C. (2014). A morphospace for reef fishes: elongation is the dominant axis of body shape evolution. *PLoS One*, 9(11), e112732.

- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2000. Programa de manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F. 224 p.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2003. Programa de manejo del Parque Nacional Huatulco. Conanp-Semarnat, México, D.F. 205 p.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2007. Programa de manejo del Parque Nacional exclusivamente la zona marina del Archipiélago de Espíritu Santo. Conanp-Semarnat, México, D.F. 226 p.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2011. Estudio Previo Justificativo para la modificación de la declaratoria del área natural protegida Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, en el Estado de Veracruz, México, 87 páginas + 5 anexos, total 184 páginas.
- Córdova-Tapia, F., & Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Revista Ecosistemas*, 24(3), 78-87.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B.,... & Raskin, R. G. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253.
- Danovaro, R., Gambi, C., Dell'Anno, A., Corinaldesi, C., Fraschetti, S., Vanreusel, A.,... & Gooday, A. J. (2008). Exponential decline of deep-sea ecosystem functioning linked to benthic biodiversity loss. *Current Biology*, 18(1), 1-8.
- D'agata, S., Mouillot, D., Kulbicki, M., Andréfouët, S., Bellwood, D. R., Cinner, J. E.,... & Vigliola, L. (2014). Human-mediated loss of phylogenetic and functional diversity in coral reef fishes. *Current Biology*, 24(5), 555-560.
- D'agata, S., Mouillot, D., Wantiez, L., Friedlander, A. M., Kulbicki, M., & Vigliola, L. (2016). Marine reserves lag behind wilderness in the conservation of key functional roles. *Nature communications*, 7.
- Darling, E. S., Alvarez-Filip, L., Oliver, T. A., McClanahan, T. R., & Côté, I. M. (2012). Evaluating life-history strategies of reef corals from species traits. *Ecology Letters*, 15(12), 1378-1386.

- Darling, E. S., Graham, N. A., Januchowski-Hartley, F. A., Nash, K. L., Pratchett, M. S., & Wilson, S. K. (2017). Relationships between structural complexity, coral traits, and reef fish assemblages. *Coral Reefs*, 36(2), 561-575.
- Darlington, R. B., & Hayes, A. F. (2016). Regression analysis and linear models: Concepts, applications, and implementation. Guilford Publications.
- De'ath, G., Fabricius, K. E., Sweatman, H., & Puotinen, M. (2012). The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 17995-17999.
- Díaz, S., & Cabido, M. (2001). Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in ecology & evolution*, 16(11), 646-655.
- Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K., & Robson, T. M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20684-20689.
- Done, T (2011). Coral Reef, definition. En D. Hopley Ed. Encyclopedia of Modern Coral Reefs: Structure, Form and Process. Reference Reviews, 2011, vol. 25, no 8. Springer. Pp. 1236.
- Emslie, M. J., Cheal, A. J., & Johns, K. A. (2014). Retention of habitat complexity minimizes disassembly of reef fish communities following disturbance: a large-scale natural experiment. *PLoS One*, 9(8), e105384.
- Farré, M., Tuset, V. M., Maynou, F., Recasens, L., & Lombarte, A. (2013). Geometric morphology as an alternative for measuring the diversity of fish assemblages. *Ecological indicators*, 29, 159-166.
- Farré, M., Lombarte, A., Recasens, L., Maynou, F., & Tuset, V. M. (2015). Habitat influence in the morphological diversity of coastal fish assemblages. *Journal of Sea Research*, 99, 107-117.
- Fonseca, C. R., & Ganade, G. (2001). Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *Journal of Ecology*, 89(1), 118-125.

- Frieler, K., Meinshausen, M., Golly, A., Mengel, M., Lebek, K., Donner, S. D., & Hoegh-Guldberg, O. (2013). Limiting global warming to 2° C is unlikely to save most coral reefs, *Nature Climate Change*, 3, 165–170.
- Galván-Villa, C. M., Arreola-Robles, J. L., Ríos-Jara, E., & Rodríguez-Zaragoza, F. A. (2010). Ensamblajes de peces arrecifales y su relación con el hábitat bentónico de la Isla Isabel, Nayarit, México. *Revista de biología marina y oceanografía*, 45(2), 311-324.
- García-Salgado, M., Camarena, L. T., Gold, B. G., Vasquez, M., Galland, G., Nava, M. G. ... & Ceja, V. (2006). Línea base del estado del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Proyecto para la conservación y uso sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano.
- Gilligan, M. R. (1980). Beta diversity of a Gulf of California rocky-shore fish community. *Environmental Biology of Fishes*, 5(2), 109-116.
- Glynn, P. W., & Morales, G. E. L. (1997). Coral reefs of Huatulco, West Mexico: reef development in upwelling Gulf of Tehuantepec. *Revista de Biología Tropical*, 45(3), 1033-1047.
- González Gandára, C., & Arias González, J. E. (2001). Lista actualizada de los peces del arrecife Alacranes, Yucatán, México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 72(2).
- González-Gándara, C., & González-Sansón, G. (1997). Composición y abundancia de la ictiofauna del arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Revista de Investigaciones Marinas*, 18(3), 249-259.
- González-Medina, F. J., Holguin-Quñones, O. E., & la Cruz-Agüero, D. (2006). Variación espaciotemporal de algunos macroinvertebrados (Gastropoda, Bivalvia y Echinodermata) de fondos someros del archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 32(1A), 33-44.
- Graham, N. A. J., & Nash, K. L. (2013). The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs*, 32(2), 315-326.

- Gratwicke, B., & Speight, M. R. (2005). Effects of habitat complexity on Caribbean marine fish assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 292, 301-310.
- Harborne, A. R., Mumby, P. J., & Ferrari, R. (2012). The effectiveness of different meso-scale rugosity metrics for predicting intra-habitat variation in coral-reef fish assemblages. *Environmental Biology of Fishes*, 94(2), 431-442.
- Hill, J., & Wilkinson, C. L. I. V. E. (2004). Methods for ecological monitoring of coral reefs. *Australian Institute of Marine Science*, Townsville, 117.
- Hillebrand, H., & Matthiessen, B. (2009). Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. *Ecology letters*, 12(12), 1405-1419.
- Holguin Quiñones, O. E., González Medina, F. D. J., Solís Marín, F., & Félix Pico, E. F. (2008). Variación espacio-temporal de Scleractinia, Gorgonacea, Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 1189-1199.
- Horta-Puga, G. (2003). Condition of selected reef sites in the Veracruz reef system (stony corals and algae). En J.C. Lang Ed. Status of coral reefs in the western Atlantic: results of initial surveys, Atlantic and Gulf Rapid Assessment (AGRRA) program. *Atoll Research Bulletin* 496. Pp. 360-369.
- 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. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM005. México D. F.
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., ... & Schmid, B. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological monographs*, 75(1), 3-35.
- Jackson, J., Cramer, K., Donovan, M., & Lam, V. (2014). Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970-2012. Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN, Gland, Switzerland. 304 pp.

- Johannes, R. E., & Riepen, M. (1995). Environmental economic and social implications of the live reef fish trade in Asia and the Western Pacific.
- Jordán-Dahlgren, E., & Rodríguez-Martínez, R. E. (2003). The Atlantic coral reefs of Mexico. *Latin American coral reefs*, 131-158.
- Kench, P. (2010). Coral reef geomorphology. In B. Warf (Ed.), *Encyclopedia of geography* (pp. 585-586). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications Ltd. doi: 10.4135/9781412939591.n220
- Kramer, P. A. (2003). Synthesis of coral reef health indicators for the western Atlantic: Results of the AGRRA program (1997-2000). *Atoll Research Bulletin*, 496(3), 1-58.
- Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91(1), 299-305.
- Lang, J. C., Marks, K. W., Kramer, P. A., Kramer, P. R., & Ginsburg, R. N. (2010). AGRRA protocols version 5.4. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment, Miami, FL.
- López-Pérez, A., Granja-Fernández, R., Aparicio-Cid, C., Zepeta-Vilchis, R. C., Torres-Huerta, A. M., Benítez-Villalobos, F.,... & Valencia-Méndez, O. (2014). Corales pétreos, equinodermos y peces asociados a comunidades y arrecifes coralinos del Parque Nacional Huatulco, Pacífico sur mexicano. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4), 1145-1159.
- López Pérez, R. A., & López García, A. (2008). Identificación de sitios prioritarios para la conservación de corales formadores de arrecife en el estado de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 18(3), 239-250.
- Luque, G. M., Bellard, C., Bertelsmeier, C., Bonnaud, E., Genovesi, P., Simberloff, D., & Courchamp, F. (2014). The 100th of the world's worst invasive alien species. *Biological invasions*, 16(5), 981-985.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. John Wiley & Sons.
- Mason, N. W., MacGillivray, K., Steel, J. B., & Wilson, J. B. (2003). An index of functional diversity. *Journal of Vegetation Science*, 14(4), 571-578.

- Mason, N. W., Mouillot, D., Lee, W. G., & Wilson, J. B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111(1), 112-118.
- McCormick, M. I. (1994). Comparison of field methods for measuring surface topography and their associations with a tropical reef fish assemblage. *Marine Ecology Progress Series*, 87-96.
- Merino, A. P., & Diaz, C. M. A. R. (2006). Análisis de datos con SPSS 13 Base. McGraw-Hill Interamericana.
- Micheli, F., Mumby, P. J., Brumbaugh, D. R., Broad, K., Dahlgren, C. P., Harborne, A. R.,... & Sanchirico, J. N. (2014). High vulnerability of ecosystem function and services to diversity loss in Caribbean coral reefs. *Biological Conservation*, 171, 186-194.
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological economics*, 29(2), 215-233.
- Mora, C., Aburto-Oropeza, O., Bocos, A. A., Ayotte, P. M., Banks, S., Bauman, A. G.,... & Brooks, A. (2011). Global human footprint on the linkage between biodiversity and ecosystem functioning in reef fishes. *PLoS biology*, 9(4), e1000606.
- Morin, P.J. 2011. Community ecology. Wiley Blackwell, Estados Unidos.
- Mouchet, M. A., Villéger, S., Mason, N. W., & Mouillot, D. (2010). Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, 24(4), 867-876.
- Mouillot, D., Mason, W. N., Dumay, O., & Wilson, J. B. (2005). Functional regularity: a neglected aspect of functional diversity. *Oecologia*, 142(3), 353-359.
- Mouillot, D., Dumay, O., & Tomasini, J. A. (2007). Limiting similarity, niche filtering and functional diversity in coastal lagoon fish communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(3), 443-456.

- Mouillot, D., Graham, N. A., Villéger, S., Mason, N. W., & Bellwood, D. R. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in ecology & evolution*, 28(3), 167-177.
- Mouillot, D., Villéger, S., Parravicini, V., Kulbicki, M., Arias-González, J. E., Bender, M.,... & Bellwood, D. R. (2014). Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), 13757-13762.
- Mumby, P. J., Broad, K., Brumbaugh, D. R., Dahlgren, C., Harborne, A. R., Hastings, A.,... & Sanchirico, J. N. (2008). Coral reef habitats as surrogates of species, ecological functions, and ecosystem services. *Conservation Biology*, 22(4), 941-951.
- Naeem, S. (2009). Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective. Oxford University Press.
- Naeem, S., Duffy, J. E., & Zavaleta, E. (2012). The functions of biological diversity in an age of extinction. *Science*, 336(6087), 1401-1406.
- Newman, S. P., Meesters, E. H., Dryden, C. S., Williams, S. M., Sanchez, C., Mumby, P. J., & Polunin, N. V. (2015). Reef flattening effects on total richness and species responses in the Caribbean. *Journal of Animal Ecology*, 84(6), 1678-1689.
- Palacios, M. D. M., & Zapata, F. A. (2014). Fish community structure on coral habitats with contrasting architecture in the Tropical Eastern Pacific. *Revista de Biología Tropical*, 62, 343-357.
- Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology letters*, 9(6), 741-758.
- Ramírez-Ortiz, G., Calderon-Aguilera, L. E., Reyes-Bonilla, H., Ayala-Bocos, A., Hernández, L., Fernández Rivera-Melo, F.,... & Dominici-Arosamena, A. (2017). Functional diversity of fish and invertebrates in coral and rocky reefs of the Eastern Tropical Pacific. *Marine Ecology*, 38(4).
- Rao, C. R. (1982). Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. *Theoretical population biology*, 21(1), 24-43.

- Reyes-Bonilla, H. (1993). Biogeografía y ecología de los corales hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico de México. *Biodiversidad marina y costera de México*. CONABIO/CIQRO. Chetumal, 207-222.
- Reyes-Bonilla, H. (2003). Coral reefs of the Pacific coast of Mexico. *Latin American coral reefs*, 331.
- Reyes Bonilla, H. (2005). Atlas de corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico mexicano (No. Sirsi) i970270779X). Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada.
- Reyes-Bonilla, H.; D. Herrero-Pérezrul; A. Weaver e I. Sánchez-Alcántara. 2007. Capítulo III. Línea base de información biofísica de Espíritu Santo. En: Sociedad de Historial Natural Niparajá A. C. (Ed). Pescando Información en Espíritu Santo: Generación de información socioeconómica, de gobernabilidad y biofísica. 10 pp y Anexos.
- Ricotta, C. (2005). A note on functional diversity measures. *Basic and Applied Ecology*, 6(5), 479-486.
- Robertson, D. R, & Allen G. R. (2015). Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea. Versión 2.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- Rogers, C. S., Garrison, G., Grober, R., Hillis, Z. M., & Franke, M. A. (1994). Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic. Virgin Islands National Park.
- Sandin, S. A., Vermeij, M. J., & Hurlbert, A. H. (2008). Island biogeography of Caribbean coral reef fish. *Global Ecology and Biogeography*, 17(6), 770-777.
- Shaw, E. C., Phinn, S. R., Tilbrook, B., & Steven, A. (2015). Natural in situ relationships suggest coral reef calcium carbonate production will decline with ocean acidification. *Limnology and Oceanography*, 60(3), 777-788.
- Stuart-Smith, R. D., Bates, A. E., Lefcheck, J. S., Duffy, J. E., Baker, S. C., Thomson, R. J.,... & Becerro, M. A. (2013). Integrating abundance and functional traits reveals new global hotspots of fish diversity. *Nature*, 501(7468), 539-542.

- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., & Siemann, E. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277(5330), 1300-1302.
- Tunnell Jr, J. W., Chávez, E. A., & Withers, K. (2010). Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México (No. 577.789 C657).
- Vargas-Hernández, J. M. y L.F. Carrera-Parra. 1998. Los peces del arrecife Triángulos Oeste, Sonda de Campeche, México. *AgroBiótica* No. 1. Revista electrónica Universidad Veracruzana.
- Villéger, S., Mason, N. W., & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290-2301.
- Villéger, S., Miranda, J. R., Hernández, D. F., & Mouillot, D. (2010). Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications*, 20(6), 1512-1522.
- Villéger, S., Brosse, S., Mouchet, M., Mouillot, D., & Vanni, M. J. (2017). Functional ecology of fish: current approaches and future challenges. *Aquatic Sciences*, 1-19.
- Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Wilson, S. K., Graham, N. A. J., & Polunin, N. V. C. (2007). Appraisal of visual assessments of habitat complexity and benthic composition on coral reefs. *Marine Biology*, 151(3), 1069-1076.
- Wilson, S. K., Fisher, R., Pratchett, M. S., Graham, N. A. J., Dulvy, N. K., Turner, R. A.,... & Polunin, N. V. C. (2010). Habitat degradation and fishing effects on the size structure of coral reef fish communities. *Ecological Applications*, 20(2), 442-451.
- Zar, J. H. (2009). *Biostatistical Analysis*, 4th Impression, Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd., Delhi, 110, 92.

## 7. Anexos

### Anexo I

Tabla I. Clasificación del grado de protección de los sitios/arrecifes para el presente estudio.

| Región | Localidad | Sitio         | Profundidad | Categoría en el ANP               | Categoría en el presente trabajo |
|--------|-----------|---------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| POT    | Huatulco  | San Agustín   | somero      | Protección (P)                    | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| POT    | Huatulco  | Riscalillo    | somero      | Uso restringido 1 (UR1)           | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| POT    | Huatulco  | Chachacual    | somero      | Uso restringido 2 (UR2)           | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| POT    | Huatulco  | La Montosa    | somero      | Fuera del Área Marina Protegida   | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| POT    | Huatulco  | La Entrega    | somero      | Fuera del Área Marina Protegida   | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| POT    | Huatulco  | Punta Chahué  | somero      | Fuera del Área Marina Protegida   | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| POT    | Huatulco  | La India      | profundo    | Uso restringido 2 (UR2)           | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| POT    | Huatulco  | Cacaluta      | profundo    | Uso restringido 2 (UR2)           | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| POT    | Huatulco  | El Maguey     | profundo    | Aprovechamiento sustentable de RN | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| POT    | Huatulco  | La Montosa 2  | profundo    | Fuera del Área Marina Protegida   | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| POT    | Huatulco  | Chahué        | profundo    | Fuera del Área Marina Protegida   | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| POT    | Huatulco  | Tejón         | profundo    | Fuera del Área Marina Protegida   | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | Muellecitos   | Somero      | Zona de amortiguamiento           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | Los Islotes   | Somero      | Zona núcleo                       | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| GC     | La Paz    | La Ballena    | Somero      | Zona de amortiguamiento           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | San Rafaelito | Somero      | Zona de amortiguamiento           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | La Gaviota    | Somero      | Zona de amortiguamiento           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | San Gabriel   | Somero      | Zona núcleo                       | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| GC     | La Paz    | Muellecitos   | Profundo    | Zona de amortiguamiento           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | Los Islotes   | Profundo    | Zona núcleo                       | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| GC     | La Paz    | La Ballena    | Profundo    | Zona de amortiguamiento           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | San Rafaelito | Profundo    | Zona de amortiguamiento           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GC     | La Paz    | Punta Lobos   | Profundo    | Zona núcleo                       | Zona de Uso Restringido (UR)     |

|    |             |                    |          |                                     |                                  |
|----|-------------|--------------------|----------|-------------------------------------|----------------------------------|
| GC | La Paz      | Bajo Swanny        | Profundo | Zona de amortiguamiento             | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GM | Veracruz    | Isla Blanca        | somero   | Zona Núcleo del SAV                 | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| GM | Veracruz    | Santiagoillo       | somero   | Zona Núcleo del SAV                 | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| GM | Veracruz    | Blanquilla         | somero   | Zona de Amortiguamiento del SAV     | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GM | Veracruz    | Anegada de Adentro | somero   | Zona de Amortiguamiento del SAV     | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GM | Veracruz    | Isla Verde         | somero   | Zona de Amortiguamiento del SAV     | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GM | Veracruz    | Isla Sacrificios   | somero   | Zona de Amortiguamiento del SAV     | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GM | Veracruz    | Isla Blanca        | profundo | Zona Núcleo del SAV                 | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| GM | Veracruz    | Santiagoillo       | profundo | Zona Núcleo del SAV                 | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| GM | Veracruz    | Blanquilla         | profundo | Zona de Amortiguamiento del SAV     | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GM | Veracruz    | Anegada de Adentro | profundo | Zona de Amortiguamiento del SAV     | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| GM | Veracruz    | Isla Verde         | profundo | Zona de Amortiguamiento del SAV     | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| CM | Pto Morelos | Cuevones           | somero   | Uso Científico del PNAPM            | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| CM | Pto Morelos | Limonos            | somero   | Uso Pesquero Concesionado           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| CM | Pto Morelos | Bonanza 1          | somero   | Uso Recreativo Semi-intensivo       | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| CM | Pto Morelos | Bocana             | somero   | Uso Recreativo Semi-intensivo       | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| CM | Pto Morelos | La Pared           | somero   | Uso Recreativo Semi-intensivo       | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| CM | Pto Morelos | Bonanza 2          | profundo | Uso Científico del PNAPM            | Zona de Uso Restringido (UR)     |
| CM | Pto Morelos | Manchones          | profundo | Uso Pesquero Concesionado           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| CM | Pto Morelos | Tanchacte          | profundo | Uso Pesquero Concesionado           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| CM | Pto Morelos | Estufa             | profundo | Uso Pesquero Concesionado           | Zona de Uso No Restringido (UNR) |
| CM | Pto Morelos | Jardines           | profundo | Canal de Navegación/pesca comercial | Zona de Uso No Restringido (UNR) |

## Anexo 2

Tabla I. Clasificación de los componentes del sustrato vivos e inertes considerados en el método punto de intercepción para porcentaje de cobertura.

| <b>Componentes vivos</b> | <b>Componentes inertes</b> |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. Algas coralinas       | 1. Sedimento               |
| 2. Algas filamentosas    | 2. Pedacería               |
| 3. Macroalgas            | 3. Roca                    |
| 4. Corales pétreos       | 4. Arena                   |
| 5. Esponjas              | 5. Coral muerto            |
| 6. Octocorales           |                            |
| 7. Pastos                |                            |

### Anexo 3

Tabla I. Orden jerárquico que muestra las escalas espaciales evaluadas (regiones, localidades, sitios/arrecifes), tipo de protección (uso restringido del ANP), nivel de profundidad (somero y profundo), número de transectos y posición geográfica de cada uno de los sitios de muestreo evaluados.

| Zona      | Región | Localidad               | Sitio                 | Protección | Profundidad | Transectos | Latitud       | Longitud      |
|-----------|--------|-------------------------|-----------------------|------------|-------------|------------|---------------|---------------|
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | San Agustín           | UR         | Somero      | 4          | 15°41'14.00"N | 96°14'13.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | Riscalillo            | UR         | Somero      | 4          | 15°41'48.00"N | 96°13'29.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | Chachacual            | UR         | Somero      | 4          | 15°41'60.00"N | 96°12'51.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | La Montosa            | UNR        | Somero      | 4          | 15°45'48.00"N | 96° 4'56.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | La Entrega            | UNR        | Somero      | 4          | 15°44'41.94"N | 96° 7'43.04"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | Punta Chahué          | UNR        | Somero      | 4          | 15°45'9.00"N  | 96° 7'29.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | La India              | UR         | Profundo    | 4          | 15°42'30.00"N | 96°11'53.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | Cacaluta              | UR         | Profundo    | 4          | 15°43'8.00"N  | 96° 9'39.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | El Maguey             | UR         | Profundo    | 4          | 15°43'48.00"N | 96° 8'54.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | La Montosa II         | UNR        | Profundo    | 4          | 15°45'54.00"N | 96° 5'2.00"O  |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | Chahué                | UNR        | Profundo    | 4          | 15°44'60.00"N | 96° 7'31.00"O |
| Pacífico  | POT    | Huatulco, Oaxaca        | Tejón                 | UNR        | Profundo    | 4          | 15°46'48.00"N | 96° 3'35.00"O |
| Atlántico | GM     | Antón Lizardo, Ver.     | Isla Blanca           | UR         | Somero      | 4          | 19° 5'16.20"N | 96° 0'10.70"O |
| Atlántico | GM     | Antón Lizardo, Ver.     | Santiaguillo          | UR         | Somero      | 4          | 19° 8'30.70"N | 95°48'33.50"O |
| Atlántico | GM     | Veracruz, Ver.          | Blanquilla            | UNR        | Somero      | 4          | 19°13'26.60"N | 96° 5'42.30"O |
| Atlántico | GM     | Veracruz, Ver.          | Anegada de Adentro    | UNR        | Somero      | 4          | 19°13'32.20"N | 96° 3'30.80"O |
| Atlántico | GM     | Veracruz, Ver.          | Isla Verde            | UNR        | Somero      | 4          | 19°11'58.50"N | 96° 4'10.00"O |
| Atlántico | GM     | Veracruz, Ver.          | Sacrificios           | UNR        | Somero      | 4          | 19°10'29.80"N | 96° 5'38.60"O |
| Atlántico | GM     | Antón Lizardo, Ver.     | Isla Blanca II        | UR         | Profundo    | 4          | 19° 5'13.90"N | 96° 0'12.80"O |
| Atlántico | GM     | Antón Lizardo, Ver.     | Santiaguillo II       | UR         | Profundo    | 4          | 19° 8'30.20"N | 95°48'37.40"O |
| Atlántico | GM     | Veracruz, Ver.          | Blanquilla II         | UNR        | Profundo    | 4          | 19°13'27.50"N | 96° 5'42.70"O |
| Atlántico | GM     | Veracruz, Ver.          | Anegada de Adentro II | UNR        | Profundo    | 4          | 19°13'30.80"N | 96° 3'29.90"O |
| Atlántico | GM     | Veracruz, Ver.          | Isla Verde II         | UNR        | Profundo    | 4          | 19°11'58.30"N | 96° 4'10.80"O |
| Atlántico | CM     | Puerto Morelos, Q. Roo. | Cuevones              | UR         | Somero      | 4          | 20°54'34.32"N | 86°49'59.20"O |

|           |    |                         |                  |     |          |   |               |                |
|-----------|----|-------------------------|------------------|-----|----------|---|---------------|----------------|
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | Limonos          | UNR | Somero   | 4 | 20°59'18.43"N | 86°47'49.90"O  |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | Bonanza          | UR  | Somero   | 4 | 20°57'52.92"N | 86°48'50.69"O  |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | La Bocana        | UR  | Somero   | 4 | 20°52'29.42"N | 86°51'1.88"O   |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | La Pared         | UR  | Somero   | 4 | 20°49'27.23"N | 86°52'34.27"O  |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | Bonanza II       | UR  | Profundo | 4 | 20°57'27.00"N | 86°48'30.56"O  |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | Manchones        | UNR | Profundo | 4 | 20°58'42.78"N | 86°48'2.27"O   |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | Tanchacté        | UNR | Profundo | 4 | 20°54'27.32"N | 86°49'57.36"O  |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | Estufa           | UNR | Profundo | 4 | 20°57'5.26"N  | 86°48'56.14"O  |
| Atlántico | CM | Puerto Morelos, Q. Roo. | Jardines         | UNR | Profundo | 4 | 20°49'52.88"N | 86°52'48.71"O  |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | Muellecitos      | UNR | Somero   | 4 | 24°35'8.70"N  | 110°22'59.56"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | Los Islotes      | UR  | Somero   | 3 | 24°35'53.88"N | 110°24'2.92"O  |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | La Ballena       | UNR | Somero   | 4 | 24°28'48.04"N | 110°24'15.84"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | San Rafaelito    | UNR | Somero   | 4 | 24°17'52.99"N | 110°20'45.22"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | La Gaviota       | UNR | Somero   | 4 | 24°17'15.85"N | 110°20'16.21"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | San Gabriel      | UR  | Somero   | 4 | 24°25'48.18"N | 110°21'50.58"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | Muellecitos II   | UNR | Profundo | 4 | 24°34'38.46"N | 110°22'46.49"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | Los Islotes II   | UR  | Profundo | 4 | 24°35'57.95"N | 110°24'0.58"O  |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | La Ballena II    | UNR | Profundo | 4 | 24°28'45.52"N | 110°24'26.73"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | San Rafaelito II | UNR | Profundo | 4 | 24°17'54.00"N | 110°20'44.89"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | Punta Lobos      | UR  | Profundo | 4 | 24°28'19.38"N | 110°17'17.45"O |
| Atlántico | GC | La Paz, B.C.S.          | Bajo Swanny      | UNR | Profundo | 4 | 24°23'31.31"N | 110°18'20.16"O |

## Anexo 4

Tabla IV. Listado sistemático de las especies de corales pétreos registrados en las cuatro regiones de estudio.

| Zona      | Phylum   | Clase    | Orden        | Familia          | Género                | Especie                          | Autoridad                   |
|-----------|----------|----------|--------------|------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Agariciidae      | <i>Pavona</i>         | <i>Pavona gigantea</i>           | Verrill, 1869               |
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Dendrophylliidae | <i>Tubastraea</i>     | <i>Tubastraea coccinea</i>       | Lesson, 1829                |
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Pocilloporidae   | <i>Pocillopora</i>    | <i>Pocillopora verrucosa</i>     | Ellis & Solander, 1786      |
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Pocilloporidae   | <i>Pocillopora</i>    | <i>Pocillopora capitata</i>      | Verrill, 1864               |
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Pocilloporidae   | <i>Pocillopora</i>    | <i>Pocillopora damicornis</i>    | Linnaeus, 1758              |
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Pocilloporidae   | <i>Pocillopora</i>    | <i>Pocillopora meandrina</i>     | Dana, 1846                  |
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Poritidae        | <i>Porites</i>        | <i>Porites panamensis</i>        | Verrill, 1866               |
| Pacífico  | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Psammocoridae    | <i>Psammocora</i>     | <i>Psammocora stellata</i>       | Verrill, 1866               |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Acroporidae      | <i>Acropora</i>       | <i>Acropora palmata</i>          | Lamarck, 1816               |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Acroporidae      | <i>Acropora</i>       | <i>Acropora cervicornis</i>      | Lamarck, 1816               |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Agariciidae      | <i>Agaricia</i>       | <i>Agaricia lamarcki</i>         | Edwards & Haime, 1851       |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Agariciidae      | <i>Agaricia</i>       | <i>Agaricia fragilis</i>         | Dana, 1848                  |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Agariciidae      | <i>Agaricia</i>       | <i>Agaricia tenuifolia</i>       | Ellis & Solander, 1786      |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Agariciidae      | <i>Agaricia</i>       | <i>Agaricia agaricites</i>       | Linnaeus, 1758              |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Agariciidae      | <i>Agaricia</i>       | <i>Agaricia humilis</i>          | Verrill, 1901               |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Agariciidae      | <i>Helioseris</i>     | <i>Helioseris cucullata</i>      | Dana, 1848                  |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Astrocoeniidae   | <i>Stephanocoenia</i> | <i>Stephanocoenia intersepta</i> | Lamarck, 1836               |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Astrocoeniidae   | <i>Madracis</i>       | <i>Madracis decactis</i>         | Lyman, 1859                 |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Faviidae         | <i>Montastrea</i>     | <i>Montastrea cavernosa</i>      | Linnaeus, 1767              |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Meandrinidae     | <i>Dendrogyra</i>     | <i>Dendrogyra cylindrus</i>      | Ehrenberg, 1834             |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Meandrinidae     | <i>Meandrina</i>      | <i>Meandrina meandrites</i>      | Linnaeus, 1758              |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Meandrinidae     | <i>Dichocoenia</i>    | <i>Dichocoenia stokesii</i>      | Milne Edwards & Haime, 1848 |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Merulinidae      | <i>Orbicella</i>      | <i>Orbicella annularis</i>       | Ellis & Solander, 1786      |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Merulinidae      | <i>Orbicella</i>      | <i>Orbicella faveolata</i>       | Ellis & Solander, 1786      |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Merulinidae      | <i>Orbicella</i>      | <i>Orbicella franksi</i>         | Gregory, 1895               |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Mussidae         | <i>Colpophyllia</i>   | <i>Colpophyllia natans</i>       | Houttuyn, 1772              |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Mussidae         | <i>Diploria</i>       | <i>Diploria labyrinthiformis</i> | Linnaeus, 1758              |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia | Mussidae         | <i>Mycetophyllia</i>  | <i>Mycetophyllia lamarckiana</i> | Edwards & Haime, 1848       |

|           |          |          |               |                |                       |                                |                        |
|-----------|----------|----------|---------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------|
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Mussidae       | <i>Pseudodiploria</i> | <i>Pseudodiploria clivosa</i>  | Ellis & Solander, 1786 |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Mussidae       | <i>Pseudodiploria</i> | <i>Pseudodiploria strigosa</i> | Dana, 1846             |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Mussidae       | <i>Scolymia</i>       | <i>Scolymia lacera</i>         | Pallas, 1766           |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Oculinidae     | <i>Oculina</i>        | <i>Oculina diffusa</i>         | Lamarck, 1816          |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Oculinidae     | <i>Oculina</i>        | <i>Oculina varicosa</i>        | Le Sueur, 1820         |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Poritidae      | <i>Porites</i>        | <i>Porites divaricata</i>      | Le Sueur, 1820         |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Poritidae      | <i>Porites</i>        | <i>Porites furcata</i>         | Lamarck, 1816          |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Poritidae      | <i>Porites</i>        | <i>Porites porites</i>         | Pallas, 1766           |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Poritidae      | <i>Porites</i>        | <i>Porites astreoides</i>      | Lamarck, 1816          |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Siderastreidae | <i>Siderastrea</i>    | <i>Siderastrea siderea</i>     | Ellis & Solander, 1786 |
| Atlántico | Cnidaria | Anthozoa | Scleractinia  | Siderastreidae | <i>Siderastrea</i>    | <i>Siderastrea radians</i>     | Pallas, 1766           |
| Atlántico | Cnidaria | Hydrozoa | Anthoathecata | Milleporidae   | <i>Millepora</i>      | <i>Millepora complanata</i>    | Lamarck, 1816          |
| Atlántico | Cnidaria | Hydrozoa | Anthoathecata | Milleporidae   | <i>Millepora</i>      | <i>Millepora alcicornis</i>    | Linnaeus, 1758         |

## Anexo 5

Tabla V. Listado sistemático con las especies de peces registrados en las cuatro regiones de estudio.

| Región   | Phylum   | Clase          | Orden             | Familia        | Género                | Especie                            | Autoridad               |
|----------|----------|----------------|-------------------|----------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Acanthuridae   | <i>Acanthurus</i>     | <i>Acanthurus xanthopterus</i>     | Valenciennes, 1835      |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Acanthuridae   | <i>Prionurus</i>      | <i>Prionurus punctatus</i>         | Gill, 1862              |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Apogonidae     | <i>Apogon</i>         | <i>Apogon pacificus</i>            | Herre, 1935             |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Sygnathiformes    | Aulostomidae   | <i>Aulostomus</i>     | <i>Aulostomus chinensis</i>        | Linnaeus, 1766          |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Balistidae     | <i>Balistes</i>       | <i>Balistes polylepis</i>          | Steindachner, 1876      |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Balistidae     | <i>Pseudobalistes</i> | <i>Pseudobalistes naufragium</i>   | Jordan & Starks, 1895   |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Balistidae     | <i>Sufflamen</i>      | <i>Sufflamen verres</i>            | Gilbert & Starks, 1904  |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Blenniidae     | <i>Ophioblennius</i>  | <i>Ophioblennius steindachneri</i> | Jordan & Evermann, 1898 |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Blenniidae     | <i>Plagiotremus</i>   | <i>Plagiotremus azaleus</i>        | Jordan & Bollman, 1890  |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Caranx</i>         | <i>Caranx sexfasciatus</i>         | Quoy & Gaimard, 1825    |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Carangoides</i>    | <i>Carangoides orthogrammus</i>    | Jordan & Gilbert, 1882  |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Caranx</i>         | <i>Caranx caballus</i>             | Günther, 1868           |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Elagatis</i>       | <i>Elagatis bipinnulata</i>        | Quoy & Gaimard, 1825    |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Selar</i>          | <i>Selar crumenophthalmus</i>      | Bloch, 1793             |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Chaetodontidae | <i>Johnrandallia</i>  | <i>Johnrandallia nigrirostris</i>  | Gill, 1862              |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i>      | <i>Chaetodon humeralis</i>         | Günther, 1860           |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Cirrhitidae    | <i>Cirrhitus</i>      | <i>Cirrhitus rivulatus</i>         | Valenciennes, 1846      |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Cirrhitidae    | <i>Cirrhichthys</i>   | <i>Cirrhichthys oxycephalus</i>    | Bleeker, 1855           |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Diodontidae    | <i>Diodon</i>         | <i>Diodon hystrix</i>              | Linnaeus, 1758          |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Diodontidae    | <i>Diodon</i>         | <i>Diodon holocanthus</i>          | Linnaeus, 1758          |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Sygnathiformes    | Fistulariidae  | <i>Fistularia</i>     | <i>Fistularia commersonii</i>      | Rüppell, 1838           |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Gobiidae       | <i>Elacatinus</i>     | <i>Elacatinus puncticulatus</i>    | Ginsburg, 1938          |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Haemulidae     | <i>Anisotremus</i>    | <i>Anisotremus interruptus</i>     | Gill, 1862              |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Haemulidae     | <i>Anisotremus</i>    | <i>Anisotremus taeniatus</i>       | Gill, 1861              |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Haemulidae     | <i>Haemulon</i>       | <i>Haemulon sexfasciatum</i>       | Gill, 1862              |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Haemulidae     | <i>Haemulon</i>       | <i>Haemulon maculicauda</i>        | Gill, 1862              |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Haemulidae     | <i>Haemulon</i>       | <i>Haemulon steindachneri</i>      | Jordan & Gilbert, 1882  |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Beryciformes      | Holocentridae  | <i>Sargocentron</i>   | <i>Sargocentron suborbitale</i>    | Gill, 1863              |

|          |          |                |                   |               |                       |                                  |                          |
|----------|----------|----------------|-------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Beryciformes      | Holocentridae | <i>Myripristis</i>    | <i>Myripristis leiognathus</i>   | Valenciennes, 1846       |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Kyphosidae    | <i>Kyphosus</i>       | <i>Kyphosus analogus</i>         | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Kyphosidae    | <i>Kyphosus</i>       | <i>Kyphosus elegans</i>          | Peters, 1869             |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Thalassoma</i>     | <i>Thalassoma grammaticum</i>    | Gilbert, 1890            |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Thalassoma</i>     | <i>Thalassoma lucasanum</i>      | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Bodianus</i>       | <i>Bodianus diplotaenia</i>      | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Halichoeres</i>    | <i>Halichoeres dispilus</i>      | Günther, 1864            |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Halichoeres</i>    | <i>Halichoeres nicholsi</i>      | Jordan & Gilbert, 1882   |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Halichoeres</i>    | <i>Halichoeres chierchiae</i>    | Di Caporiacco, 1948      |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Halichoeres</i>    | <i>Halichoeres notospilus</i>    | Günther, 1864            |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Iniistius</i>      | <i>Iniistius pavo</i>            | Valenciennes, 1840       |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Labridae      | <i>Novaculichthys</i> | <i>Novaculichthys taeniourus</i> | Lacepède, 1801           |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Hoplopagrus</i>    | <i>Hoplopagrus guentherii</i>    | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>       | <i>Lutjanus aratus</i>           | Günther, 1864            |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>       | <i>Lutjanus viridis</i>          | Valenciennes, 1846       |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>       | <i>Lutjanus argentiventris</i>   | Peters, 1869             |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>       | <i>Lutjanus guttatus</i>         | Steindachner, 1869       |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>       | <i>Lutjanus novemfasciatus</i>   | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Monacanthidae | <i>Cantherhines</i>   | <i>Cantherhines dumerilii</i>    | Hollard, 1854            |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Mullidae      | <i>Mulloidichthys</i> | <i>Mulloidichthys dentatus</i>   | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Anguilliformes    | Muraenidae    | <i>Gymnothorax</i>    | <i>Gymnothorax castaneus</i>     | Jordan & Gilbert, 1883   |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Anguilliformes    | Muraenidae    | <i>Muraena</i>        | <i>Muraena lentiginosa</i>       | Jenyns, 1842             |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacanthidae | <i>Holacanthus</i>    | <i>Holacanthus passer</i>        | Valenciennes, 1846       |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacanthidae | <i>Pomacanthus</i>    | <i>Pomacanthus zonipectus</i>    | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Abudefduf</i>      | <i>Abudefduf declivifrons</i>    | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Abudefduf</i>      | <i>Abudefduf troschelii</i>      | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Microspathodon</i> | <i>Microspathodon bairdii</i>    | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Microspathodon</i> | <i>Microspathodon dorsalis</i>   | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes acapulcoensis</i>   | Fowler, 1944             |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Chromis</i>        | <i>Chromis atrilobata</i>        | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Chromis</i>        | <i>Chromis limbaughii</i>        | Greenfield & Woods, 1980 |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes rectifraenum</i>    | Gill, 1862               |
| Pacífico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes flavilatus</i>      | Gill, 1862               |

|           |          |                |                   |                |                        |                                   |                            |
|-----------|----------|----------------|-------------------|----------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Nicholsina</i>      | <i>Nicholsina denticulata</i>     | Evermann & Radcliffe, 1917 |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Scarus</i>          | <i>Scarus compressus</i>          | Osburn & Nichols, 1916     |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Scarus</i>          | <i>Scarus ghobban</i>             | Forsskål, 1775             |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Scarus</i>          | <i>Scarus rubroviolaceus</i>      | Bleeker, 1847              |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Scarus</i>          | <i>Scarus perrico</i>             | Jordan & Gilbert, 1882     |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Alphestes</i>       | <i>Alphestes immaculatus</i>      | Breder, 1936               |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Mycteroperca</i>    | <i>Mycteroperca rosacea</i>       | Streets, 1877              |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Paranthias</i>      | <i>Paranthias colonus</i>         | Valenciennes, 1846         |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Cephalopholis</i>   | <i>Cephalopholis panamensis</i>   | Steindachner, 1876         |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Epinephelus</i>     | <i>Epinephelus labriformis</i>    | Jenyns, 1840               |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Serranus</i>        | <i>Serranus psittacinus</i>       | Valenciennes, 1846         |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Sparidae       | <i>Calamus</i>         | <i>Calamus brachysomus</i>        | Lockington, 1880           |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | <i>Arothron</i>        | <i>Arothron meleagris</i>         | Anonymous, 1798            |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | <i>Canthigaster</i>    | <i>Canthigaster punctatissima</i> | Günther, 1870              |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | <i>Sphoeroides</i>     | <i>Sphoeroides lobatus</i>        | Steindachner, 1870         |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Tripterygiidae | <i>Crocodylichthys</i> | <i>Crocodylichthys gracilis</i>   | Allen & Robertson, 1991    |
| Pacífico  | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Zanclidae      | <i>Zanclus</i>         | <i>Zanclus cornutus</i>           | Linnaeus, 1758             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Acanthuridae   | <i>Acanthurus</i>      | <i>Acanthurus bahianus</i>        | Castelnau, 1855            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Acanthuridae   | <i>Acanthurus</i>      | <i>Acanthurus chirurgus</i>       | Bloch, 1787                |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Acanthuridae   | <i>Acanthurus</i>      | <i>Acanthurus coeruleus</i>       | Bloch & Schneider, 1801    |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Sygnathiformes    | Aulostomidae   | <i>Aulostomus</i>      | <i>Aulostomus maculatus</i>       | Valenciennes, 1841         |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Balistidae     | <i>Balistes</i>        | <i>Balistes vetula</i>            | Linnaeus, 1758             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Blenniidae     | <i>Parablennius</i>    | <i>Parablennius marmoreus</i>     | Poey, 1876                 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Blenniidae     | <i>Ophioblennius</i>   | <i>Ophioblennius macclurei</i>    | Silvester, 1915            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Caranx</i>          | <i>Caranx crysos</i>              | Mitchill, 1815             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Caranx</i>          | <i>Caranx ruber</i>               | Bloch, 1793                |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Carangidae     | <i>Carangoides</i>     | <i>Carangoides bartholomaei</i>   | Cuvier, 1833               |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i>       | <i>Chaetodon capistratus</i>      | Linnaeus, 1758             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i>       | <i>Chaetodon ocellatus</i>        | Bloch, 1787                |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i>       | <i>Chaetodon sedentarius</i>      | Poey, 1860                 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Chaetodontidae | <i>Chaetodon</i>       | <i>Chaetodon striatus</i>         | Linnaeus, 1758             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Gerreidae      | <i>Gerres</i>          | <i>Gerres cinereus</i>            | Walbaum, 1792              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Gobiidae       | <i>Coryphopterus</i>   | <i>Coryphopterus personatus</i>   | Jordan & Thompson, 1905    |

|           |          |                |              |               |                      |                                  |                         |
|-----------|----------|----------------|--------------|---------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Gobiidae      | <i>Elacatinus</i>    | <i>Elacatinus jarocho</i>        | Taylor & Akins, 2007    |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Gobiidae      | <i>Elacatinus</i>    | <i>Elacatinus oceanops</i>       | Jordan, 1904            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Gobiidae      | <i>Elacatinus</i>    | <i>Elacatinus redimiculus</i>    | Taylor & Akins, 2007    |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Gobiidae      | <i>Coryphopterus</i> | <i>Coryphopterus</i>             | Gill, 1863              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Grammatidae   | <i>Gramma</i>        | <i>Gramma loreto</i>             | Poey, 1868              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Anisotremus</i>   | <i>Anisotremus virginicus</i>    | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon aurolineatum</i>     | Cuvier, 1830            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon carbonarium</i>      | Poey, 1860              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon chrysargyreum</i>    | Günther, 1859           |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon flavolineatum</i>    | Desmarest, 1823         |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon macrostomum</i>      | Günther, 1859           |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon melanurum</i>        | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon parra</i>            | Desmarest, 1823         |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon plumierii</i>        | Lacepède, 1801          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon sciurus</i>          | Shaw, 1803              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon striatum</i>         | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Haemulon</i>      | <i>Haemulon vittatum</i>         | Poey, 1860              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Haemulidae    | <i>Anisotremus</i>   | <i>Anisotremus surinamensis</i>  | Bloch, 1791             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Beryciformes | Holocentridae | <i>Holocentrus</i>   | <i>Holocentrus adscensionis</i>  | Osbeck, 1765            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Kyphosidae    | <i>Kyphosus</i>      | <i>Kyphosus sectatrix</i>        | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Halichoeres</i>   | <i>Halichoeres bivittatus</i>    | Bloch, 1791             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Halichoeres</i>   | <i>Halichoeres burekai</i>       | Weaver & Rocha, 2007    |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Halichoeres</i>   | <i>Halichoeres gamoti</i>        | Valenciennes, 1839      |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Halichoeres</i>   | <i>Halichoeres radiatus</i>      | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Bodianus</i>      | <i>Bodianus rufus</i>            | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Clepticus</i>     | <i>Clepticus parrae</i>          | Bloch & Schneider, 1801 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Halichoeres</i>   | <i>Halichoeres pictus</i>        | Poey, 1860              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Halichoeres</i>   | <i>Halichoeres poeyi</i>         | Steindachner, 1867      |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labridae      | <i>Thalassoma</i>    | <i>Thalassoma bifasciatum</i>    | Bloch, 1791             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Labrisomidae  | <i>Malacoctenus</i>  | <i>Malacoctenus triangulatus</i> | Springer, 1959          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>      | <i>Lutjanus apodus</i>           | Walbaum, 1792           |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>      | <i>Lutjanus griseus</i>          | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes  | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>      | <i>Lutjanus jocu</i>             | Bloch & Schneider, 1801 |

|           |          |                |                   |               |                       |                                  |                         |
|-----------|----------|----------------|-------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>       | <i>Lutjanus mahogoni</i>         | Cuvier, 1828            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Lutjanus</i>       | <i>Lutjanus synagris</i>         | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Lutjanidae    | <i>Ocyurus</i>        | <i>Ocyurus chrysurus</i>         | Bloch, 1791             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Monacanthidae | <i>Monacanthus</i>    | <i>Monacanthus tuckeri</i>       | Oken, 1817              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Mullidae      | <i>Mulloidichthys</i> | <i>Mulloidichthys martinicus</i> | Cuvier, 1829            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Mullidae      | <i>Pseudupeneus</i>   | <i>Pseudupeneus maculatus</i>    | Bloch, 1793             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Anguilliformes    | Muraenidae    | <i>Gymnothorax</i>    | <i>Gymnothorax miliaris</i>      | Kaup, 1856              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Ostraciidae   | <i>Lactophrys</i>     | <i>Lactophrys bicaudalis</i>     | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Ostraciidae   | <i>Rhinesomus</i>     | <i>Rhinesomus triqueter</i>      | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pempheridae   | <i>Pempheris</i>      | <i>Pempheris schomburgkii</i>    | Müller & Troschel, 1848 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacanthidae | <i>Pomacanthus</i>    | <i>Pomacanthus paru</i>          | Bloch, 1787             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacanthidae | <i>Holacanthus</i>    | <i>Holacanthus bermudensis</i>   | Goode, 1876             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacanthidae | <i>Holacanthus</i>    | <i>Holacanthus tricolor</i>      | Lacepède, 1802          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Abudefduf</i>      | <i>Abudefduf saxatilis</i>       | Linnaeus, 1758          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Chromis</i>        | <i>Chromis cyanea</i>            | Poey, 1860              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Chromis</i>        | <i>Chromis insolata</i>          | Cuvier, 1830            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Chromis</i>        | <i>Chromis multilineata</i>      | Guichenot, 1853         |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Chromis</i>        | <i>Chromis scotti</i>            | Emery, 1968             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Microspathodon</i> | <i>Microspathodon chrysurus</i>  | Cuvier, 1830            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Mycteroperca</i>   | <i>Mycteroperca bonaci</i>       | Poey, 1860              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Neopomacentrus</i> | <i>Neopomacentrus cyanomos</i>   | Bleeker, 1856           |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes diencaeus</i>       | Jordan & Rutter, 1897   |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes leucostictus</i>    | Müller & Troschel, 1848 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes partitus</i>        | Poey, 1868              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes planifrons</i>      | Cuvier, 1830            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Abudefduf</i>      | <i>Abudefduf taurus</i>          | Müller & Troschel, 1848 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes adustus</i>         | Troschel, 1865          |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Pomacentridae | <i>Stegastes</i>      | <i>Stegastes variabilis</i>      | Castelnau, 1855         |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae      | <i>Scarus</i>         | <i>Scarus iseri</i>              | Bloch, 1789             |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae      | <i>Scarus</i>         | <i>Scarus taeniopterus</i>       | Lesson, 1829            |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae      | <i>Scarus</i>         | <i>Scarus vetula</i>             | Bloch & Schneider, 1801 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae      | <i>Sparisoma</i>      | <i>Sparisoma atomarium</i>       | Poey, 1861              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae      | <i>Sparisoma</i>      | <i>Sparisoma aurofrenatum</i>    | Valenciennes, 1840      |

|           |          |                |                   |                |                      |                                    |                                   |
|-----------|----------|----------------|-------------------|----------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Sparisoma</i>     | <i>Sparisoma chrysopterum</i>      | Bloch & Schneider, 1801           |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Sparisoma</i>     | <i>Sparisoma rubripinne</i>        | Valenciennes, 1840                |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Scaridae       | <i>Sparisoma</i>     | <i>Sparisoma viride</i>            | Bonnaterre, 1788                  |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Scorpaeniformes   | Scorpaenidae   | <i>Pterois</i>       | <i>Pterois volitans</i>            | Linnaeus, 1758                    |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Scorpaeniformes   | Scorpaenidae   | <i>Scorpaena</i>     | <i>Scorpaena plumieri</i>          | Bloch, 1789                       |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Cephalopholis</i> | <i>Cephalopholis cruentata</i>     | Lacepède, 1802                    |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Epinephelus</i>   | <i>Epinephelus adscensionis</i>    | Osbeck, 1765                      |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Mycteroperca</i>  | <i>Mycteroperca phenax</i>         | Jordan & Swain, 1884              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Serranus</i>      | <i>Serranus tigrinus</i>           | Bloch, 1790                       |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Hypoplectrus</i>  | <i>Hypoplectrus castroaguirrei</i> | Tello-Musi & Martínez-Pérez, 2012 |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Cephalopholis</i> | <i>Cephalopholis fulva</i>         | Linnaeus, 1758                    |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Hypoplectrus</i>  | <i>Hypoplectrus indigo</i>         | Poey, 1851                        |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Hypoplectrus</i>  | <i>Hypoplectrus nigricans</i>      | Poey, 1852                        |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Serranidae     | <i>Paranthias</i>    | <i>Paranthias furcifer</i>         | Valenciennes, 1828                |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Sparidae       | <i>Calamus</i>       | <i>Calamus penna</i>               | Valenciennes, 1830                |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Sparidae       | <i>Calamus</i>       | <i>Calamus pennatula</i>           | Guichenot, 1868                   |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Perciformes       | Sphyraenidae   | <i>Sphyraena</i>     | <i>Sphyraena barracuda</i>         | Edwards, 1771                     |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | <i>Canthigaster</i>  | <i>Canthigaster rostrata</i>       | Bloch, 1786                       |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | <i>Canthigaster</i>  | <i>Canthigaster jamestyeri</i>     | Moura & Castro, 2002              |
| Atlántico | Chordata | Actinopterygii | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | <i>Sphoeroides</i>   | <i>Sphoeroides spengleri</i>       | Bloch, 1785                       |

## Anexo 6

Tabla I. Matriz de rasgos funcionales y sus valores resultantes con las especies de peces que conformaron la región del POT.

| Especie                           | Talla | Movilidad | Actividad | Agrupamiento | Posición | Dieta |
|-----------------------------------|-------|-----------|-----------|--------------|----------|-------|
| <i>Abudefduf_declivifrons</i>     | C     | B         | A         | A            | A        | A     |
| <i>Abudefduf_troschellii</i>      | C     | B         | A         | D            | B        | D     |
| <i>Acanthurus_xanthopterus</i>    | E     | B         | A         | A            | A        | A     |
| <i>Anisotremus_interruptus</i>    | E     | B         | B         | A            | B        | C     |
| <i>Anisotremus_taeniatus</i>      | C     | C         | B         | C            | B        | F     |
| <i>Apogon_pacificus</i>           | B     | A         | B         | C            | B        | D     |
| <i>Arothron_meleagris</i>         | D     | B         | A         | A            | B        | B     |
| <i>Bodianus_diplotaenia</i>       | E     | C         | A         | A            | A        | C     |
| <i>Cantherhines_dumerilii</i>     | D     | B         | A         | A            | B        | F     |
| <i>Canthigaster_punctatissima</i> | B     | A         | A         | A            | A        | B     |
| <i>Carangoides_orthogrammus</i>   | E     | C         | A         | C            | C        | E     |
| <i>Caranx_caballus</i>            | E     | C         | A         | D            | C        | E     |
| <i>Caranx_sexfasciatus</i>        | F     | C         | B         | D            | C        | E     |
| <i>Cephalopholis_panamensis</i>   | D     | A         | A         | A            | A        | E     |
| <i>Chaetodon_humeralis</i>        | C     | B         | A         | C            | A        | F     |
| <i>Chromis_atrilobata</i>         | B     | B         | A         | D            | C        | D     |
| <i>Cirrhichthys_oxycephalus</i>   | B     | A         | A         | C            | A        | E     |
| <i>Cirrhitus_rivulatus</i>        | E     | A         | A         | A            | A        | E     |
| <i>Diodon_holocanthus</i>         | D     | B         | B         | A            | A        | C     |
| <i>Diodon_hystrix</i>             | D     | B         | B         | A            | A        | C     |
| <i>Elagatis_bipinnulata</i>       | F     | C         | A         | C            | C        | E     |
| <i>Epinephelus_labriformis</i>    | E     | A         | B         | A            | A        | E     |
| <i>Fistularia_commersonii</i>     | F     | B         | A         | A            | B        | E     |
| <i>Haemulon_maculicauda</i>       | C     | C         | B         | D            | A        | E     |
| <i>Haemulon_sexfasciatum</i>      | E     | C         | B         | C            | A        | E     |

|                             |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Haemulon_steindachneri      | C | C | B | D | B | C |
| Halichoeres_chierchiae      | C | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_dispilus        | C | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_nicholsi        | D | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_notospilus      | C | B | A | A | A | C |
| Holacanthus_passer          | D | B | A | C | B | B |
| Iniistius_pavo              | D | B | A | A | A | C |
| Johnrandallia_nigrirostris  | C | B | A | C | B | F |
| Kyphosus_analogus           | D | C | A | C | B | A |
| Kyphosus_elegans            | E | C | A | A | B | A |
| Lutjanus_argentiventris     | E | C | B | D | A | E |
| Lutjanus_guttatus           | E | C | B | A | B | C |
| Lutjanus_novemfasciatus     | F | C | B | A | A | E |
| Microspathodon_bairdii      | C | A | A | A | A | A |
| Microspathodon_dorsalis     | D | A | A | A | A | A |
| Mulloidichthys_dentatus     | D | C | B | C | A | C |
| Muraena_lentiginosa         | E | A | B | A | A | E |
| Myripristis_leiognathus     | C | B | B | C | B | D |
| Novaculichthys_taeiniourus  | C | A | A | B | A | C |
| Ophioblennius_steindachneri | C | A | A | A | A | F |
| Paranthias_colonus          | D | B | A | D | A | D |
| Plagiotremus_azaleus        | B | A | A | A | A | E |
| Prionurus_punctatus         | E | B | A | D | A | A |
| Pseudobalistes_naufragium   | F | B | A | A | B | C |
| Sargocentron_suborbitale    | C | B | B | A | B | C |
| Scarus_ghobban              | F | C | A | A | A | A |
| Scarus_perrico              | E | C | A | A | A | A |
| Selar_crumenophthalmus      | E | C | B | D | C | D |
| Serranus_psittacinus        | C | A | A | A | A | E |
| Sphoeroides_lobatus         | C | A | A | A | A | F |
| Stegastes_acapulcoensis     | C | A | A | A | A | A |

|                             |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| <i>Stegastes_flavilatus</i> | B | A | A | A | A | A |
| <i>Sufflamen_verres</i>     | D | B | A | C | A | C |
| <i>Thalassoma_lucasanum</i> | B | B | A | C | B | C |
| <i>Zanclus_cornutus</i>     | C | B | A | C | A | B |

Tabla II. Matriz de rasgos funcionales y sus valores resultantes con las especies de peces que conformaron la región del GC.

| Especie                           | Talla | Movilidad | Actividad | Agrupamiento | Posición | Dieta |
|-----------------------------------|-------|-----------|-----------|--------------|----------|-------|
| <i>Abudefduf_troschellii</i>      | C     | B         | A         | D            | B        | D     |
| <i>Acanthurus_xanthopterus</i>    | E     | B         | A         | A            | A        | A     |
| <i>Alphestes_immaculatus</i>      | C     | A         | B         | A            | A        | C     |
| <i>Anisotremus_interruptus</i>    | E     | B         | B         | A            | B        | C     |
| <i>Arothron_meleagris</i>         | D     | B         | A         | A            | B        | B     |
| <i>Aulostomus_chinensis</i>       | E     | B         | A         | A            | A        | E     |
| <i>Balistes_polylepis</i>         | E     | B         | A         | A            | A        | C     |
| <i>Bodianus_diplotaenia</i>       | E     | C         | A         | A            | A        | C     |
| <i>Calamus_brachysomus</i>        | E     | B         | A         | A            | A        | C     |
| <i>Canthigaster_punctatissima</i> | B     | A         | A         | A            | A        | B     |
| <i>Caranx_caballus</i>            | E     | C         | A         | D            | C        | E     |
| <i>Cephalopholis_panamensis</i>   | D     | A         | A         | A            | A        | E     |
| <i>Chaetodon_humeralis</i>        | C     | B         | A         | C            | A        | F     |
| <i>Chromis_atrilobata</i>         | B     | B         | A         | D            | C        | D     |
| <i>Chromis_limbaughi</i>          | B     | A         | A         | C            | B        | D     |
| <i>Cirrhichthys_oxycephalus</i>   | B     | A         | A         | C            | A        | E     |
| <i>Cirrhitus_rivulatus</i>        | E     | A         | A         | A            | A        | E     |
| <i>Crocodilichthys_gracilis</i>   | A     | A         | A         | A            | A        | F     |
| <i>Diodon_holocanthus</i>         | D     | B         | B         | A            | A        | C     |
| <i>Diodon_hystrix</i>             | D     | B         | B         | A            | A        | C     |
| <i>Elacatinus_puncticulatus</i>   | A     | A         | A         | A            | A        | B     |

|                             |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Epinephelus_labriformis     | E | A | B | A | A | E |
| Fistularia_commersonii      | F | B | A | A | B | E |
| Gymnothorax_castaneus       | F | A | B | A | A | E |
| Haemulon_maculicauda        | C | C | B | D | A | E |
| Haemulon_sexfasciatum       | E | C | B | C | A | E |
| Haemulon_steindachneri      | C | C | B | D | B | C |
| Halichoeres_chierchiae      | C | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_dispilus        | C | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_nicholsi        | D | B | A | A | A | C |
| Holacanthus_passer          | D | B | A | C | B | B |
| Hoplopagrus_guentherii      | F | B | B | A | A | E |
| Johnrandallia_nigrirostris  | C | B | A | C | B | F |
| Kyphosus_analogus           | D | C | A | C | B | A |
| Kyphosus_elegans            | E | C | A | A | B | A |
| Lutjanus_aratus             | D | C | B | A | B | E |
| Lutjanus_argentiventris     | E | C | B | D | A | E |
| Lutjanus_novemfasciatus     | F | C | B | A | A | E |
| Lutjanus_viridis            | C | B | B | C | A | E |
| Microspathodon_bairdii      | C | A | A | A | A | A |
| Microspathodon_dorsalis     | D | A | A | A | A | A |
| Mulloidichthys_dentatus     | D | C | B | C | A | C |
| Mycteroperca_rosacea        | F | B | B | A | B | E |
| Myripristis_leiognathus     | C | B | B | C | B | D |
| Nicholsina_denticulata      | C | C | A | A | A | A |
| Ophioblennius_steindachneri | C | A | A | A | A | F |
| Paranthias_colonus          | D | B | A | D | A | D |
| Plagiotremus_azaleus        | B | A | A | A | A | E |
| Pomacanthus_zonipectus      | D | B | A | A | B | B |
| Prionurus_punctatus         | E | B | A | D | A | A |
| Scarus_compressus           | E | C | A | A | A | A |
| Scarus_ghobban              | F | C | A | A | A | A |

|                        |   |   |   |   |   |   |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Scarus_perrico         | E | C | A | A | A | A |
| Scarus_rubroviolaceus  | E | C | A | A | B | A |
| Serranus_psittacinus   | C | A | A | A | A | E |
| Stegastes_flavilatus   | B | A | A | A | A | A |
| Stegastes_rectifraenum | B | A | A | A | A | A |
| Sufflamen_verres       | D | B | A | C | A | C |
| Thalassoma_grammaticum | D | B | A | A | A | C |
| Thalassoma_lucasanum   | B | B | A | C | B | C |
| Zanclus_cornutus       | C | B | A | C | A | B |

Tabla III. Matriz de rasgos funcionales y sus valores resultantes con las especies de peces que conformaron la región del GM.

| Especie                  | Talla | Movilidad | Actividad | Agrupamiento | Posición | Dieta |
|--------------------------|-------|-----------|-----------|--------------|----------|-------|
| Abudefduf_saxatilis      | C     | B         | A         | D            | B        | F     |
| Acanthurus_bahianus      | D     | C         | A         | C            | A        | A     |
| Acanthurus_chirurgus     | D     | B         | A         | C            | A        | A     |
| Acanthurus_coeruleus     | D     | A         | A         | C            | A        | A     |
| Anisotremus_surinamensis | E     | B         | B         | C            | A        | C     |
| Anisotremus_virginicus   | D     | B         | B         | C            | A        | C     |
| Aulostomus_maculatus     | F     | A         | A         | A            | A        | E     |
| Bodianus_rufus           | D     | B         | A         | A            | A        | C     |
| Canthigaster_jamestyeri  | B     | A         | A         | A            | A        | F     |
| Canthigaster_rostrata    | B     | B         | A         | C            | A        | F     |
| Carangoides_bartholomaei | F     | C         | A         | A            | B        | E     |
| Caranx_crysos            | E     | C         | A         | D            | B        | E     |
| Caranx_ruber             | E     | C         | A         | C            | B        | E     |
| Cephalopholis_cruentata  | D     | A         | B         | A            | A        | E     |
| Chaetodon_capistratus    | B     | B         | A         | B            | A        | B     |
| Chaetodon_ocellatus      | C     | B         | A         | B            | A        | B     |

|                             |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Chaetodon_sedentarius       | B | B | A | B | A | B |
| Chaetodon_striatus          | C | B | A | B | A | B |
| Chromis_cyanea              | B | B | A | C | B | D |
| Chromis_insolata            | C | B | A | C | B | D |
| Chromis_multilineata        | C | B | A | D | B | D |
| Chromis_scotti              | B | B | A | C | B | D |
| Clepticus_parrae            | C | B | A | D | B | D |
| Coryphopterus_glaucofraenum | B | A | A | A | A | A |
| Coryphopterus_personatus    | A | A | A | D | B | D |
| Elacatinus_jarocho          | A | A | A | C | B | D |
| Elacatinus_oceanops         | A | A | A | C | A | C |
| Elacatinus_redimiculus      | A | A | A | A | A | C |
| Epinephelus_adscensionis    | E | A | B | A | A | C |
| Gerres_cinereus             | D | B | A | C | A | C |
| Gymnothorax_miliaris        | E | A | A | A | A | C |
| Haemulon_aurolineatum       | C | C | B | C | A | F |
| Haemulon_chrysargyreum      | C | C | B | C | A | D |
| Haemulon_flavolineatum      | C | C | B | D | A | C |
| Haemulon_macrostromum       | D | B | B | C | A | C |
| Haemulon_plumierii          | E | C | B | D | A | C |
| Haemulon_vittatum           | C | C | B | D | C | D |
| Halichoeres_bivittatus      | D | B | A | C | A | C |
| Halichoeres_burekae         | B | B | A | C | B | D |
| Halichoeres_garnoti         | C | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_radiatus        | E | B | A | C | A | C |
| Holacanthus_bermudensis     | D | B | A | A | A | B |
| Holocentrus_adscensionis    | E | C | B | A | A | C |
| Hypoplectrus_castroaguirrei | B | B | B | A | A | E |
| Hypoplectrus_nigricans      | C | B | B | A | A | E |
| Kyphosus_sectatrix          | E | C | A | C | B | A |
| Lutjanus_apodus             | E | C | B | C | B | E |

|                           |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Lutjanus_griseus          | D | C | B | D | A | E |
| Lutjanus_jocu             | F | C | B | A | A | E |
| Lutjanus_mahogoni         | D | C | B | D | A | E |
| Lutjanus_synagris         | E | C | B | D | A | E |
| Malacoctenus_triangulatus | B | A | A | A | A | C |
| Microspathodon_chrysurus  | C | A | A | A | A | A |
| Monacanthus_tuckeri       | B | B | A | A | A | C |
| Mulloidichthys_martinicus | D | C | A | C | A | C |
| Mycteroperca_phenax       | F | A | B | A | A | E |
| Neopomacentrus_cyanomos   | B | B | A | C | B | C |
| Ocyurus_chrysurus         | F | B | B | C | B | E |
| Ophioblennius_macclurei   | B | A | A | A | A | A |
| Parablennius_marmoreus    | B | A | A | A | A | A |
| Paranthias_furcifer       | C | B | A | C | B | D |
| Pempheris_schomburgkii    | B | A | B | C | B | D |
| Pomacanthus_paru          | D | A | A | B | A | B |
| Pseudupeneus_maculatus    | C | B | A | C | A | C |
| Pterois_volitans          | D | A | B | A | A | E |
| Rhinesomus_triqueter      | D | B | A | A | A | B |
| Scarus_iseri              | D | C | A | C | A | A |
| Scarus_vetula             | E | C | A | C | A | A |
| Scorpaena_plumieri        | D | A | B | A | A | E |
| Sparisoma_atomarium       | C | C | A | C | A | A |
| Sparisoma_chrysopterum    | D | C | A | C | A | A |
| Sparisoma_rubripinne      | D | C | A | C | A | A |
| Sparisoma_viride          | E | C | A | C | A | A |
| Sphyraena_barracuda       | F | C | B | A | C | E |
| Stegastes_adustus         | B | A | A | A | A | A |
| Stegastes_partitus        | B | A | A | C | A | A |
| Stegastes_planifrons      | B | A | A | A | A | A |
| Stegastes_variabilis      | B | A | A | C | A | A |

Thalassoma\_bifasciatum            C      B            A            C                    B            D

Tabla IV. Matriz de rasgos funcionales y sus valores resultantes con las especies de peces que conformaron la región del CM.

| Especie                  | Talla | Movilidad | Actividad | Agrupamiento | Posición | Dieta |
|--------------------------|-------|-----------|-----------|--------------|----------|-------|
| Abudefduf_saxatilis      | C     | B         | A         | D            | B        | F     |
| Abudefduf_taurus         | C     | B         | A         | A            | A        | A     |
| Acanthurus_bahianus      | D     | C         | A         | C            | A        | A     |
| Acanthurus_chirurgus     | D     | B         | A         | C            | A        | A     |
| Acanthurus_coeruleus     | D     | A         | A         | C            | A        | A     |
| Anisotremus_surinamensis | E     | B         | B         | C            | A        | C     |
| Anisotremus_virginicus   | D     | B         | B         | C            | A        | C     |
| Balistes_vetula          | E     | B         | A         | A            | A        | C     |
| Bodianus_rufus           | D     | B         | A         | A            | A        | C     |
| Calamus_penna            | D     | B         | A         | A            | A        | C     |
| Calamus_pennatula        | D     | B         | A         | A            | A        | C     |
| Canthigaster_rostrata    | B     | B         | A         | C            | A        | F     |
| Caranx_ruber             | E     | C         | A         | C            | B        | E     |
| Cephalopholis_cruentata  | D     | A         | B         | A            | A        | E     |
| Cephalopholis_fulva      | D     | A         | B         | A            | A        | E     |
| Chaetodon_capistratus    | B     | B         | A         | B            | A        | B     |
| Chaetodon_ocellatus      | C     | B         | A         | B            | A        | B     |
| Chaetodon_striatus       | C     | B         | A         | B            | A        | B     |
| Chromis_cyanea           | B     | B         | A         | C            | B        | D     |
| Clepticus_parrae         | C     | B         | A         | D            | B        | D     |
| Gerres_cinereus          | D     | B         | A         | C            | A        | C     |
| Gramma_loreto            | B     | B         | A         | A            | A        | D     |
| Haemulon_aurolineatum    | C     | C         | B         | C            | A        | F     |
| Haemulon_carbonarium     | D     | C         | B         | C            | A        | C     |

|                          |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Haemulon_chrysargyreum   | C | C | B | C | A | D |
| Haemulon_flavolineatum   | C | C | B | D | A | C |
| Haemulon_macrostromum    | D | B | B | C | A | C |
| Haemulon_melanurum       | D | B | B | C | A | C |
| Haemulon_parra           | D | C | B | C | A | C |
| Haemulon_plumierii       | E | C | B | D | A | C |
| Haemulon_sciurus         | D | C | B | C | A | C |
| Haemulon_striatum        | C | C | B | C | B | D |
| Halichoeres_bivittatus   | D | B | A | C | A | C |
| Halichoeres_garnoti      | C | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_pictus       | B | B | A | A | B | C |
| Halichoeres_poeyi        | C | B | A | A | A | C |
| Halichoeres_radiatus     | E | B | A | C | A | C |
| Holacanthus_bermudensis  | D | B | A | A | A | B |
| Holacanthus_tricolor     | D | B | A | A | A | B |
| Hypoplectrus_indigo      | B | C | B | A | A | E |
| Kyphosus_sectatrix       | E | C | A | C | B | A |
| Lactophrys_bicaudalis    | D | A | A | A | A | B |
| Lutjanus_apodus          | E | C | B | C | B | E |
| Lutjanus_jocu            | F | C | B | A | A | E |
| Lutjanus_mahogoni        | D | C | B | D | A | E |
| Microspathodon_chrysurus | C | A | A | A | A | A |
| Mycteroperca_bonaci      | F | B | B | A | A | E |
| Ocyurus_chrysurus        | F | B | B | C | B | E |
| Pomacanthus_paru         | D | A | A | B | A | B |
| Pseudupeneus_maculatus   | C | B | A | C | A | C |
| Pterois_volitans         | D | A | B | A | A | E |
| Rhinesomus_triqueter     | D | B | A | A | A | B |
| Scarus_iseri             | D | C | A | C | A | A |
| Scarus_taeniopterus      | D | B | A | D | A | A |
| Scarus_vetula            | E | C | A | C | A | A |

|                               |   |   |   |   |   |   |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| <i>Serranus tigrinus</i>      | C | B | B | A | A | C |
| <i>Sparisoma atomarium</i>    | C | C | A | C | A | A |
| <i>Sparisoma aurofrenatum</i> | C | C | A | C | A | A |
| <i>Sparisoma chrysopterum</i> | D | C | A | C | A | A |
| <i>Sparisoma rubripinne</i>   | D | C | A | C | A | A |
| <i>Sparisoma viride</i>       | E | C | A | C | A | A |
| <i>Sphoeroides spengleri</i>  | C | B | A | A | A | C |
| <i>Stegastes adustus</i>      | B | A | A | A | A | A |
| <i>Stegastes diencaeus</i>    | B | A | A | A | A | A |
| <i>Stegastes leucostictus</i> | B | A | A | A | A | A |
| <i>Stegastes partitus</i>     | B | A | A | C | A | A |
| <i>Stegastes planifrons</i>   | B | A | A | A | A | A |
| <i>Stegastes variabilis</i>   | B | A | A | C | A | A |
| <i>Thalassoma bifasciatum</i> | C | B | A | C | B | D |

## Anexo VII

Tabla VII. Análisis de varianza multifactorial (3 vías) del índice de diversidad funcional Q de Rao entre los factores región, profundidad, protección y la interacción entre ellos.

| Índice                      | Fuente                        | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | Razón-F  | Valor-P |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------|---------|
| Diversidad funcional de Rao | Intercepto                    | 2.644             | 1                  | 2.644          | 1614.395 | 0.000   |
|                             | Región                        | 0.005             | 3                  | 0.001          | 1.100    | 0.351   |
|                             | Profundidad                   | 0.000             | 1                  | 0.000          | 0.170    | 0.680   |
|                             | Protección                    | 0.000             | 1                  | 0.000          | 0.001    | 0.974   |
|                             | Región*Profundidad            | 0.012             | 3                  | 0.004          | 2.589    | 0.054   |
|                             | Región*Protección             | 0.008             | 3                  | 0.002          | 1.766    | 0.155   |
|                             | Profundidad*Protección        | 0.000             | 1                  | 0.000          | 0.241    | 0.624   |
|                             | Región*Profundidad*Protección | 0.003             | 3                  | 0.001          | 0.778    | 0.507   |
|                             | Error                         | 0.267052          | 163                | 0.001638       |          |         |

