



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Los ofiuroideos (Echinodermata) de Akumal, Quintana Roo,  
México: efecto del grado de perturbación antropogénica  
sobre la diversidad**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G A**

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

**JOSELYNE SANTILLÁN LÓPEZ**



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

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.  
2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

1. Datos del alumno.

Santillán  
López  
Joselyne  
65 83 02 58  
Universidad Nacional Autónoma de  
México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
312283197

2. Datos del tutor

Dr.  
Fernando  
Álvarez  
Noguera

3. Datos del sinodal 1

Dra.  
Rosaura  
Mayén  
Estrada

4. Datos del sinodal 2

Dr.  
Francisco Alonso  
Solís  
Marín

5. Datos del sinodal 3

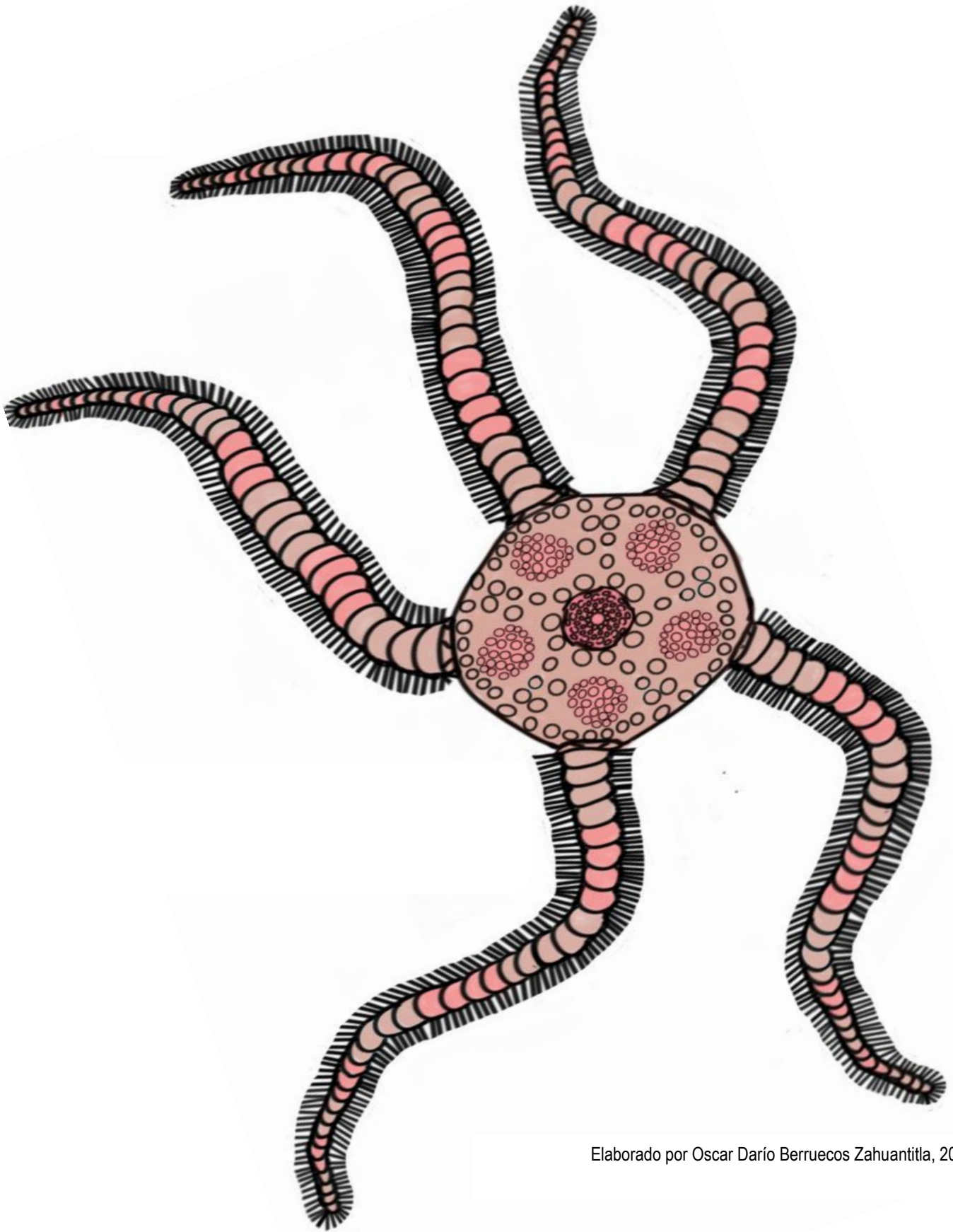
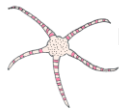
Dra.  
María Edith  
Ponce Márquez

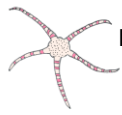
6. Datos del sinodal 4

M. en C.  
Gema Yolanda  
Armendáriz  
Ortega

7. Datos del trabajo escrito

Los ofiuroideos (Echinodermata) de Akumal, Quintana Roo, México: efecto del  
grado de perturbación antropogénica sobre la diversidad  
98 p  
2019





## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias, por la formación académica que he adquirido.

Al taller de invertebrados de la zona costera y arrecifal del Golfo de México y la Colección Nacional de Crustáceos, por los conocimientos y la experiencia que en ellos adquirí.

A los proyectos: LH010 "Invertebrados del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos" de CONABIO y IN205314 "¿Puede la criptofauna de crustáceos indicar el estado de conservación de un arrecife?" otorgado por PAPIIT-DGAPA-UNAM, por su financiamiento parcial en el trabajo de campo de esta tesis.

Al personal del Centro Ecológico Akumal por su asistencia en el muestreo.

A mi tutor, Dr. Fernando Álvarez Noguera. Por dejarme ser parte de la Colección Nacional de Crustáceos y confiarme este proyecto. Gracias por todos los comentarios, conocimientos y recomendaciones que me aportó durante el desarrollo de esta tesis.

A la M. en C. Gema Armendáriz Ortega, por el apoyo, los consejos, las observaciones y los conocimientos que me brindó durante el desarrollo de este trabajo. Le agradezco la dedicación y entrega que tiene con los alumnos del taller y por contagiarme su amor por la zoología desde la materia de animales I.

A la Dra. Rosaura Mayén Estrada por sus comentarios y correcciones que enriquecieron este trabajo.

Al Dr. Francisco Alonso Solís Marín por su apoyo en la identificación de los organismos y por sus observaciones.

A la Dra. María Edith Ponce Márquez por su apoyo y comentarios.

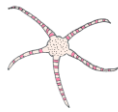
Al Dr. José Luis Villalobos Hiriart. Por su disposición a ayudar y por las recomendaciones y consejos hacia esta tesis.

A la Biól. Susana Guzmán Gómez del Laboratorio de Microscopía y Fotografía de la Biodiversidad II del Instituto de Biología de la UNAM, por la asesoría técnica en fotografía.

A Adriana Berladini por su tiempo y por la introducción al mundo de los ofiuroides.

A mi papá Ernesto, porque sin su apoyo y confianza nada de esto sería posible. A mi mamá Claudia por todo el amor que transmite y por sus palabras de aliento. A mis hermanos Luis y Ulises por inspirarme a ser mejor persona.





## **Los ofiuroideos (Echinodermata) de Akumal, Quintana Roo, México: efecto del grado de perturbación antropogénica sobre la diversidad**

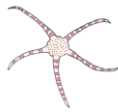
A mis abuelitas Coni y Paula, por ser un gran ejemplo para mí, por todo su amor, sus enseñanzas y por cuidarme tanto. A mi abuelito Casti a quien siempre recordare con cariño.

A mi familia por su apoyo y por compartir mis triunfos. Tía Judith, gracias por tus opiniones y tus consejos que me ayudan a crecer. Agradezco a mis tías Norma, Dulce y Liz por contagiarme su alegría y por todo el cariño y la atención que me dan. A mis primos por las risas y momentos agradables.

A los amigos que considero parte de mi familia: Mich, Fer, Gera, Pablo, Mari, Ivonne y Omar; porque siempre tuvieron palabras de aliento que me motivaban a seguir adelante y por todos los momentos que pasamos juntos.

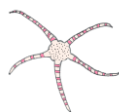
A mis compañeros de la Colección Nacional de Crustáceos y del taller de invertebrados por sus comentarios y consejos. A mis compañeros de nivel: Iv', Fer, Darío y Mario porque me acompañaron durante la elaboración de esta tesis, por sus consejos durante las clases y por todas las salidas divertidas que compartimos.

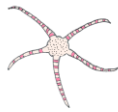




## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
Características del phylum Echinodermata.....	2
Clase Ophiuroidea .....	4
Morfología.....	4
Hábitat y forma de vida.....	6
Alimentación .....	8
Reproducción .....	8
Importancia .....	9
Perturbaciones .....	10
JUSTIFICACIÓN .....	11
ANTECEDENTES .....	11
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Particulares .....	16
ÁREA DE ESTUDIO .....	16
MATERIAL Y MÉTODO .....	21
Trabajo de campo.....	21
Trabajo de gabinete .....	22
Análisis estadísticos.....	22
RESULTADOS .....	24
Descripción de las especies .....	28
Abundancia.....	60
Riqueza específica .....	63
Porcentaje de aparición .....	65
Índice de asociación de Olmstead-Tukey.....	66
Análisis de comunidades: Diversidad, equitatividad y dominancia .....	67
Índice de similitud de Sørensen .....	69
DISCUSIÓN.....	70

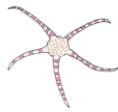




Abundancia.....	71
Riqueza específica .....	72
Porcentaje de aparición .....	74
Índice de asociación Olmstead-Tukey.....	75
Análisis de comunidades: Diversidad, equitatividad y dominancia .....	76
Índices de similitud de Sørensen.....	76
Análisis de diversidad vs. grado de perturbación .....	77
Recomendaciones .....	78
CONCLUSIONES .....	79
LITERATURA CITADA.....	81

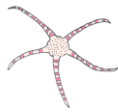






## RESUMEN

Los ofiuroides representan la clase de equinodermos más diversa y se caracterizan por la presencia de un disco central y cinco brazos multiarticulados por vértebras. Debido a que la expansión demográfica y la contaminación son perturbaciones perjudiciales para los sistemas arrecifales es importante conocer y comparar la riqueza y diversidad de las comunidades de ofiuroides bajo diferentes grados de perturbación, ya que por su abundancia éstos organismos son un elemento clave en la red trófica. Se realizó un estudio con la comunidad arrecifal de ofiuroides en tres localidades del arrecife de Akumal, Quintana Roo, durante los meses de octubre 2014, enero, abril, julio y octubre del 2015 a cuatro metros de profundidad con equipo autónomo de buceo (SCUBA), para comparar la riqueza con tres diferentes grados de perturbación (no perturbado, intermedio y perturbado). Se elaboró un catálogo fotográfico por especie con información taxonómica, se determinó la riqueza y la abundancia específica. Se calcularon los índices de Shannon, Simpson, Pielou y Sørensen, y se determinaron las especies raras, comunes, dominantes y ocasionales mediante un análisis de Olmstead-Tukey. Se comparó la riqueza y diversidad entre las tres localidades de acuerdo al grado de perturbación. Se obtuvieron 168 organismos agrupados en 12 especies, un subgénero, ocho géneros, siete familias, tres subórdenes y dos órdenes. La especie con mayor abundancia y frecuencia de aparición fue *Ophiocomella pumila*, el mes con mayor abundancia y riqueza fue octubre 2015 en la localidad Bahía de Akumal. La localidad categorizada como perturbada Bahía de Akumal fue la de mayor riqueza específica. No se obtuvieron diferencias significativas entre los valores de diversidad de las tres localidades. Se encontró que el 67% de las especies fueron raras, 25% fueron dominantes, 8% fueron ocasionales y no se encontraron especies comunes. El índice de similitud de Sørensen indicó que las localidades más parecidas fueron la Bahía de Akumal y la Bahía de la Media Luna.



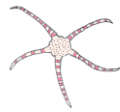
## INTRODUCCIÓN

### *Características del phylum Echinodermata*

El phylum Echinodermata agrupa a invertebrados exclusivamente marinos, se reconocen 6,950 especies vivientes (Benavides *et al.*, 2011) distribuidas en cinco clados bien definidos (Janies, 2001) tradicionalmente clasificados como clases: Crinoidea (lirios de mar, 650 especies), Asteroidea (estrellas de mar, 2,100 especies), Ophiuroidea (estrellas quebradizas y estrellas canasta, 2,000 especies), Echinoidea (erizos de mar y galletas de mar, 800 especies) y Holothuroidea (pepinos de mar, 1,400 especies) (Figura 1) (Pawson, 2007).

La palabra "Echinodermata" proviene de los vocablos griegos, "*echinos*" (= espina) y "*derma*" (= piel) (Solís-Marín *et al.*, 2014a) que significa espinas en la piel. Este phylum se caracteriza por la presencia de tres sinapomorfías que hacen que la biología funcional de los equinodermos sea diferente a la de otros metazoos (Janies, 2001). Estas características son: 1) presencia de un endoesqueleto calcáreo dispuesto en osículos, 2) simetría radial pentámera secundaria en adultos a veces enmascarada en una simetría bilateral y simetría bilateral primaria en larvas (Solís-Marín *et al.*, 2014a) y 3) sistema vascular acuífero. Estas características están presentes en las cinco clases, pero varían considerablemente entre ellas (Hendler *et al.*, 1995). Poseen sistema circulatorio hemal, sistema digestivo completo (excepto en la clase Ophiuroidea) y sistema nervioso descentralizado (Pawson, 2007).

Son dioicos, aunque existe una alta incidencia de especies hermafroditas. La fecundación es externa y ocurre generalmente en la columna de agua, después de que los gametos son liberados en ella. Además de la reproducción sexual, pueden hacerlo de manera asexual por fisiparidad (fraccionamiento voluntario o involuntario del cuerpo), dando lugar a individuos genéticamente idénticos (clones) (Solís-Marín *et al.*, 2014a).



Los equinodermos son bentónicos y pueden habitar desde pozas de marea, hasta profundidades abisales mayores a 11,000 m (Solís-Marín *et al.*, 2014b). Viven en cualquier tipo de ambiente marino, incluso en ambientes extremos como las ventilas hidrotermales, infiltraciones de metano (Sibuet y Olu, 1998) y cuevas anquihalinas (Solís-Marín *et al.*, 2010). Por sus hábitos alimenticios pertenecen a varios niveles de las redes tróficas, al ser filtradores, depredadores o detritívoros, además de ser el alimento de otros invertebrados y vertebrados. Lo anterior aunado a su alta diversidad hace a los equinodermos uno de los grupos de mayor relevancia ecológica en arrecifes coralinos y sistemas rocosos (Cázares, 2010).

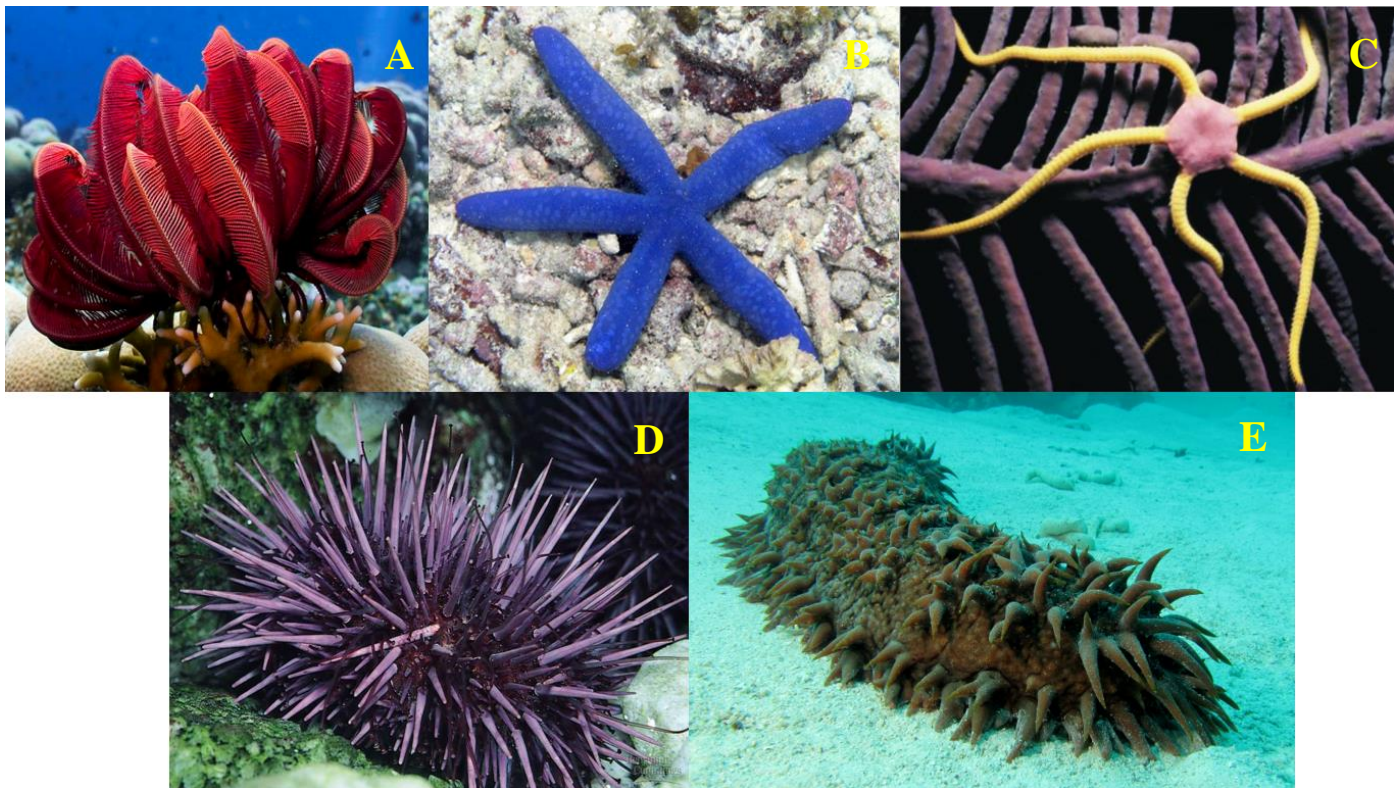
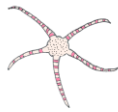


Figura 1. Diversidad del phylum Echinodermata. A) Clase Crinoidea (Tomado de: <https://www.emaze.com>), B) Clase Asteroidea (Tomado de: <https://pixabay.com>), C) Clase Ophiuroidea (Tomado de: <http://bio1151b.nicerweb.net>), D) Clase Echinoidea (Tomado de: <http://www.bio.miami.edu>) y E) Clase Holoturoidea (Tomado de: <https://www.tes.com>).



A lo largo del litoral mexicano, los equinodermos poseen una diversidad de 818 especies, lo que representa aproximadamente el 10.8% del total mundial. La clase Crinoidea está representada con 31 especies (3.8% del total para México), la clase Asteroidea 229 especies (28%), la clase Ophiuroidea 240 especies (29.3%), la clase Echinoidea con 153 especies (21%) y la clase Holoturoidea con 165 especies (20.2%) (Solís-Marín *et al.*, 2018). Sin embargo, el catálogo de los equinodermos de México aún no está completo, ya que probablemente existen nuevos registros y nuevas especies en ambientes y regiones poco estudiadas de las costas mexicanas (Solís-Marín *et al.*, 2014a).

#### *Clase Ophiuroidea*

El nombre de esta clase se deriva de los vocablos griegos *ofis* (=serpiente) y *uro* (=cola) por sus movimientos del cuerpo que son similares al de una serpiente (Solís-Marín *et al.*, 2014a). Este grupo se considera uno de los más prósperos entre los equinodermos debido a su movilidad, su diversidad de hábitos alimentarios (Brusca y Brusca, 2003) y sus escasas dimensiones, lo que les permite ser habitantes conspicuos de microhábitats expuestos y crípticos en arrecifes coralinos (Bejarano *et al.*, 2004). Algunas especies se desplazan por medio de los pies ambulacrales, mientras que otras se desplazan por movimientos musculares de los brazos (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

#### *Morfología*

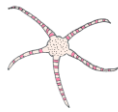
Los ofiuroides se componen morfológicamente por dos regiones: un disco central y cinco o seis brazos formados por vértebras. Las vértebras sirven como articulaciones que brindan una gran flexibilidad a los brazos y les permiten arrastrarse o sujetarse. La disposición esquelética de los brazos permite amplios movimientos laterales en un plano perpendicular al eje corporal (Brusca y Brusca, 2003). El disco central es aplanado dorsoventralmente y presenta un contorno que varía de circular a pentagonal (Stöhr *et al.*, 2012). En el centro del disco en la parte aboral, se pueden encontrar placas grandes y distintivas, denominadas placas primarias que, a su vez, pueden subdividirse en una placa centrodorsal



más grande y central y en placas radiales de menor tamaño y que se encuentran rodeando a la primera (Figura 2A). En la base de cada brazo sobre el disco, se pueden presentar otras placas denominadas escudos radiales que pueden presentar ornamentaciones como tubérculos o espinas (Benavides *et al.*, 2011).

La superficie aboral del disco puede estar desnuda o presentar escamas imbricadas, papilas, tegumento grueso con tubérculos, espinas largas, espinas bífidas y trífidas, gránulos redondeados, gránulos aplanados, placas pequeñas rodeando escamas grandes o placas irregulares gruesas (Figura 2B). Todos estos caracteres son importantes taxonómicamente para la identificación de las especies (Fell, 1975; Hendler, 1995). En los márgenes de los brazos, en la parte oral, de cada área interradianal se presentan dos o cuatro aberturas genitales, las cuales comunican las bursas (invaginaciones de la pared del disco) con el exterior (Figura 3A) (Stöhr *et al.*, 2012). El número de bursas que presenta cada organismo varía de acuerdo a la familia a la que pertenezcan, y pueden ser de dos a cuatro en cada interradio. Debido a que comunican el celoma con el ambiente externo, éstas estructuras pueden tener diferentes funciones (depende de la especie): excreción, liberación de los desechos (amonía) (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2007); comunicación de las gónadas con el exterior (Anderson, 1998), o favorecer la respiración (Lawrence, 1987).

En el centro de la superficie oral del disco se localiza el aparato masticador y está formado por cinco mandíbulas interradianales triangulares, las cuales están constituidas por escudos orales notables (uno por mandíbula), sostenidos por escudos adorales (Figura 3B) (Cázares, 2010). En la mayoría de los ofiuroides, uno de los escudos orales se modifica en la madreporita (Benavides *et al.*, 2011). Cada mandíbula posee papilas orales (forma de dientecillos) seguidas por papilas dentales más grandes en forma cuadrada y una hilera de dientes dispuestos hacia el interior del disco (Figura 3B), algunos organismos pueden presentar papilas infradentales (Fell, 1975).



Los ofiuroides pueden poseer cinco o más brazos ramificados o simples, éstos parecen estar articulados por la presencia de cuatro hileras longitudinales de placas: dos laterales, una dorsal y una ventral que rodean el brazo (Figura 4A). Su posición externa corresponde a un osículo interno denominado vértebra (Figura 4C). Cada placa lateral sostiene espinas branquiales dispuestas en hilera vertical con un tamaño, forma y número variable dependiendo de la especie. Los canales ambulacrales se ubican entre las vértebras y las placas ventrales de los brazos. Los pies ambulacrales emergen por poros ubicados entre la placa ventral y lateral de cada vértebra y cada poro está protegido por una o más escamas tentaculares (Figura 4B, C) (Laguada-Figueras *et al.*, 2009).

El tubo digestivo de los ofiuroides es incompleto. Se han perdido el intestino y el ano, y todo el sistema digestivo está confinado en el disco. La boca da paso a un esófago corto y a un gran estómago plegado que ocupa la mayor parte del disco, reduciendo el celoma a un pequeño espacio. La digestión y la absorción se realizan en el estómago (Brusca y Brusca, 2003). A diferencia de los asteroideos, los ofiuroides han restringido el sistema digestivo a la parte del disco, evolutivamente, por espacio, la ausencia de intestino y el tener el resto del sistema digestivo reducido, permite optimizar el espacio.

#### *Hábitat y forma de vida*

Los ofiuroides son organismos de vida libre y presentan una amplia distribución vertical y horizontal en el ambiente marino, desde costas rocosas hasta zonas abisales (Caso, 1979). Generalmente se encuentran en fondos sólidos con poca luz. Pueden llegar a ser epibiontes de otros organismos, incluso de otros equinodermos (Brusca y Brusca, 2003). Tienen mecanismos de defensa como la autotomización (automutilación de los brazos para escapar de potenciales depredadores), capacidad de detectar la luz (fototropismo negativo), luminiscencia, escape rápido, emanación de sabor desagradable y el reflejo de inmovilizarse cuando detectan la presencia de un depredador (Hendler, 1996).

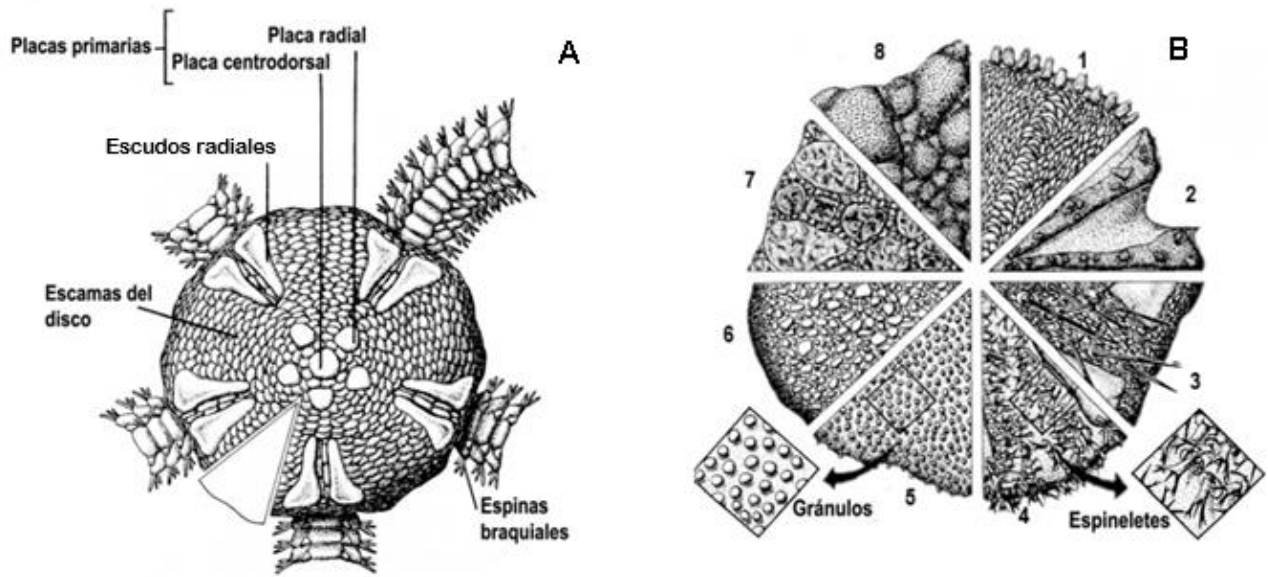
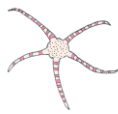


Figura 2. Esquema general y detalles de un ofiuroideo en vista aboral. A) Detalle del disco y la parte proximal de los brazos. B) Diferentes morfologías del disco, cada sector representa: 1. Disco con escamas imbricadas y el borde rodeado de papilas, 2. Tegumento grueso con tubérculos, 3. Espinas largas, 4. Espinas bífidas o trifidas, 5. Gránulos redondeados, 6. Gránulos planos 7. Placas pequeñas rodeando placas más grandes, 8. Placas irregulares gruesas. (Tomado y modificado de Benavides *et al.*, 2011).

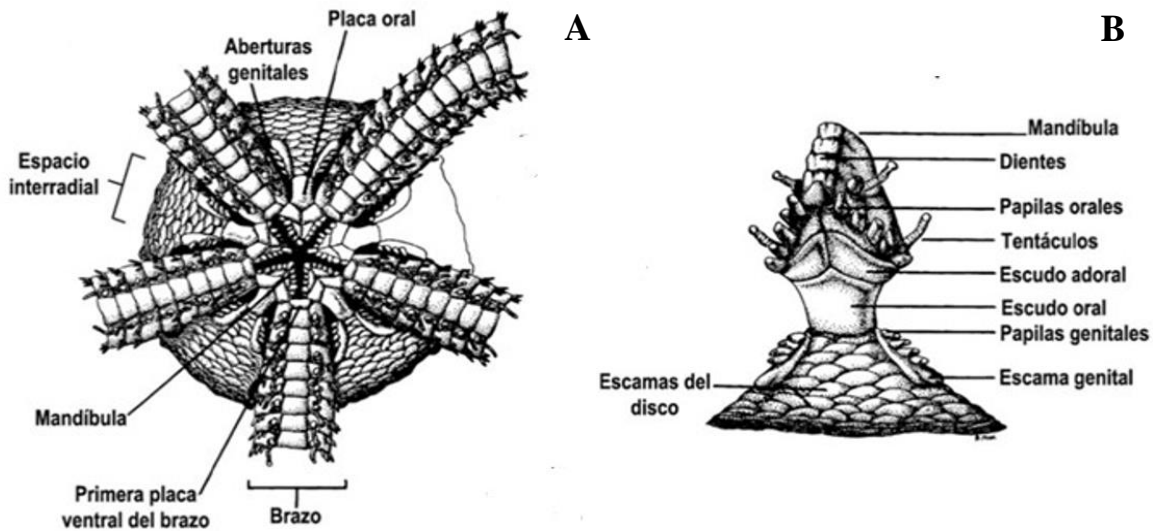


Figura 3. Esquema general y detalles de un ofiuroideo en vista oral. A) Detalle del disco y la parte proximal de los brazos y B) Detalle de una de las cinco mandíbulas que conforman el aparato masticador (Tomado y modificado de Benavides *et al.*, 2011).

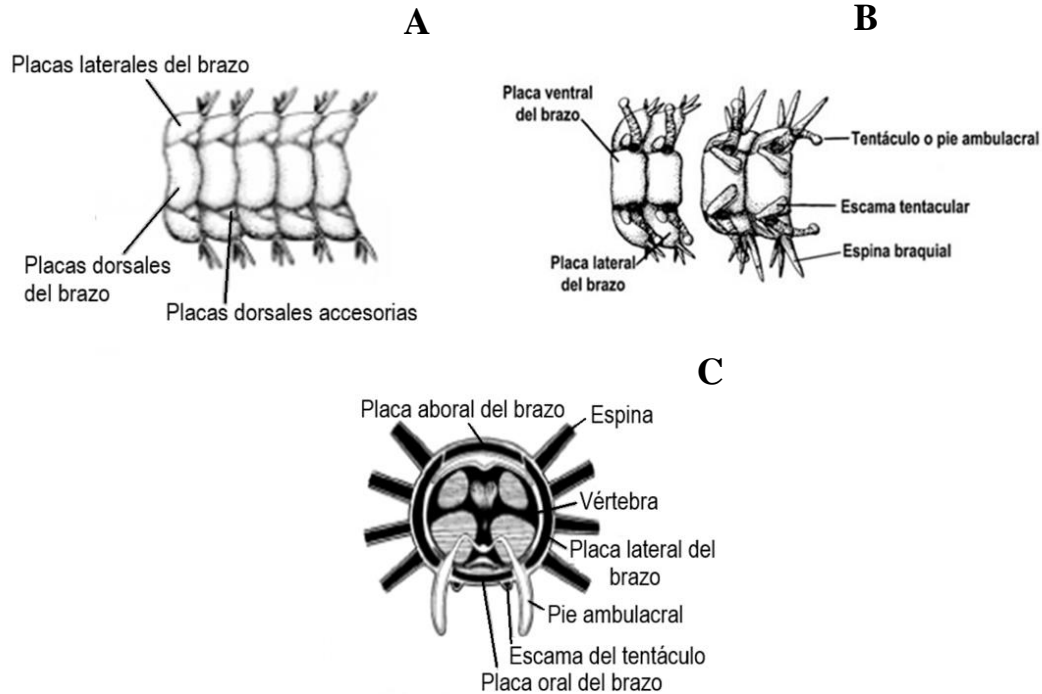


Figura 4. Esquema general y detalles del brazo de un ofiuroides. A) Placas en vista aboral, B) Placas, escamas y espinas en vista oral y C) Vista transversal (Tomado y modificado de Benavides *et al.*, 2011).

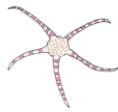
### Alimentación

Pueden obtener algunos nutrientes disueltos por difusión a través de la pared corporal, aunque lo más usual es obtener las partículas de alimento mediante los pies ambulacrales y los músculos de los brazos que las dirigen hacia la boca (Brusca y Brusca, 2003). Pueden filtrar el alimento de la superficie del sedimento, atraparlo de la columna de agua o recoger las partículas adheridas a las espinas branquiales. Los organismos depredadores carnívoros o carroñeros utilizan las puntas de sus brazos para capturar otros organismos o pueden doblar sus brazos para llevar a la boca partículas más grandes en descomposición (Hendler, 1996).

### Reproducción

Pueden reproducirse asexualmente por fisión, donde el individuo se divide a través del disco. Cada mitad regenera las partes perdidas y vuelve a dividirse



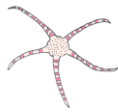


cuando alcanza el tamaño apropiado (Hendler, 1995). También puede reproducirse sexualmente, la mayoría de las especies son dioicas y liberan los gametos por las hendiduras genitales para que se fecunden en la columna de agua (fecundación externa). Se presentan dos estadios larvales hasta el estadio juvenil, el cual se asienta en el sedimento. Las larvas que presenta ésta clase pueden ser: a) vitelaria (en forma de barril con anillos de cilios y son lecitotróficas), o b) ophiopluteus (con un esqueleto de soporte y con bandas ciliadas para atrapar el alimento). Algunas especies son hermafroditas simultáneos o secuenciales (Benavides *et al.*, 2011). Los hermafroditas simultáneos son aquellos organismos que presentan ambas gónadas (masculinas y femeninas) y éstas pueden funcionar al mismo tiempo (Santana y Castro, 2007). Mientras que los hermafroditas secuenciales pueden cambiar de sexo a lo largo de toda su vida (Alvarado, 2010).

#### *Importancia*

Los ofiuroides son importantes desde el punto de vista ecológico como recicladores, al alimentarse de sedimento y transformar la materia orgánica en nutrientes, haciéndolos más accesibles a otros organismos (Cázares, 2010). En el mar profundo son los encargados de reciclar la materia orgánica y contribuir con la mayor biomasa de fragmentadores. Al ser organismos enterradores, evitan la estratificación y acumulación de patógenos en la superficie del sedimento, permitiendo la oxigenación del sedimento (Purcell, 2010).

No tienen importancia económica directa, pues no son consumidos como alimento de poblaciones humanas y son muy difíciles de mantener como animales de ornato. Sin embargo, en diversas comunidades bénticas, los ofiuroides contribuyen significativamente a la riqueza de especies, abundancia y biomasa de la macrofauna bentónica (Dahm, 1999). Además, forman parte de la dieta de organismos de importancia comercial como camarones, langostas, cangrejos ermitaños, estrellas de mar y peces (Hadel *et al.*, 1997).



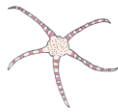
### *Perturbaciones*

Las perturbaciones son acontecimientos que provocan cambios temporales de las condiciones ambientales. Tienen como consecuencia la alteración de las poblaciones y las comunidades. Estas perturbaciones pueden dividirse en dos tipos: desastres o catástrofes. Las primeras, son acontecimientos de alta frecuencia que ejercen presión de selección de tal manera que pueden provocar la evolución de las poblaciones. Las catástrofes son acontecimientos poco frecuentes que no provocan respuestas adaptativas en los organismos. Los ecólogos suelen utilizar las perturbaciones como herramienta experimental para descubrir la forma en que funciona una comunidad porque ayudan a predecir el comportamiento de la diversidad y la estructura de la misma (Begon *et al.*, 1988).

Las perturbaciones son eventos relativamente discretos que interrumpen la función y estructura de la comunidad. Según su intensidad, las perturbaciones pueden causar efectos diferentes en las comunidades, si su intensidad es baja, el resultado será la creación de un claro que se convertirá en un lugar de regeneración centralizada y de crecimiento de otras especies. Sin embargo, si la perturbación tiene mayor intensidad y escala, puede ocasionar la reducción sustancial o incluso la eliminación de las poblaciones locales y modificar de manera significativa el ambiente físico del lugar (Smith y Smith, 2007).

Por otro lado, las perturbaciones antropogénicas son aquellas derivadas de las actividades humanas e influyen en los patrones y procesos de los ecosistemas o de la evolución de la biota. En las zonas costeras y marítimas, éstas perturbaciones suelen ser la contaminación por sólidos y por la influencia de ríos, la sobreexplotación de recursos y la sedimentación. Se conoce que las perturbaciones antropogénicas pueden actuar sinérgicamente con las perturbaciones naturales, imitando, modificando o amplificando los efectos de estas últimas (Pickett *et al.*, 1997).

Sin embargo, en regiones con una larga historia de presencia humana, los ecosistemas sujetos a regímenes constantes de su influencia han convertido estas



perturbaciones en parte de su dinámica o han creado condiciones favorables para un componente de la biodiversidad (Manson y Jardel, 2009).

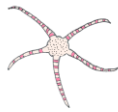
Las perturbaciones suelen medirse a través de bioindicadores que pueden ser: procesos biológicos, especies o comunidades. Sin embargo, las especies o comunidades que presentan tolerancias moderadas a la variabilidad ambiental, suelen indicar de manera más efectiva la condición del medio ambiente que aquellas especies con tolerancias estrechas que a menudo son demasiado sensibles al cambio ambiental, o que son poco frecuentes para reflejar la respuesta biótica general (Holt y Miller, 2010).

## **JUSTIFICACIÓN**

El daño creciente hacia los ecosistemas marinos se debe tanto a la expansión demográfica como a la contaminación. Estas perturbaciones modifican las características abióticas y las relaciones bióticas de la fauna en general que se distribuye en los arrecifes, aumentando así la competencia y la mortalidad de las poblaciones, y propiciando la sucesión ecológica. En los sistemas arrecifales el grado de perturbación influye en la capacidad de recuperación de las poblaciones ante estos disturbios.

## **ANTECEDENTES**

Caso (1969), reunió los datos existentes hasta esa fecha de los equinodermos presentes en el litoral del Pacífico y Golfo de México. Incluyó, descripciones detalladas, claves de familias, géneros y especies con ilustraciones, de los organismos estudiados. En cuanto a la clase Ophiuroidea, describió e ilustró 17 especies pertenecientes a nueve géneros, siete familias y dos órdenes.



Devaney (1974), estudió los equinodermos colectados en los arrecifes de alta mar y cayos de las Honduras Británicas (ahora Belice). Encontró 31 especies: un crinoideo, tres asteroideos, 21 ofiuroides, cinco equinoideos y un holoturoideo. Describió una nueva especie del género *Ophiocoma*, reconoció a *Ophiolimna littoralis* como miembro de la familia Ophiodermatidae y reconoció la sinonimia del género *Ophiozona* con *Ophiolepis*. También identificó un poliqueto comensal de *Ophiocoma pumila* e identificó las esponjas huéspedes de algunos ofiotriquidos.

Caso (1978), estudió los equinodermos de la Laguna de Términos, Campeche, México. Reportó 12 especies en los órdenes: Asteroidea (dos especies), Ophiuroidea (siete especies) y Echinoidea (tres especies). Para cada especie incluyó la sinopsis, claves de identificación, diagnóstico, distribución geográfica y abundancia. Así como de mapas de distribución y glosario de términos técnicos.

Laguarda-Figueras *et al.* (2004), realizaron un estudio en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Describieron la composición y riqueza de la comunidad de ofiuroides y determinaron 39 especies, de las cuales, 13 fueron nuevos registros para el Caribe mexicano. Describieron el hábitat de las especies, profundidad y distribución. Concluyeron que las especies que se distribuyen en esta área son de amplia distribución dentro del Caribe y en las Antillas debido a la circulación de las corrientes marinas.

Pomory (2007), elaboró una clave para 85 especies de ofiuroides del Golfo de México y el mar Caribe. Las especies tratadas presentaron un rango de profundidad desde el intermareal hasta los 30 m. Además, incluyó figuras que resaltan las características anatómicas importantes asociadas con la clave.

Hernández-Herrejón *et al.* (2008), reportaron la distribución de 68 especies de ofiuroides en el Golfo de México. Incluyeron la diagnóstico, descripción

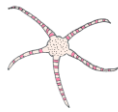


taxonómica, localidad tipo y distribución geográfica para cada una de las especies analizadas. Observaron que las familias mejor representadas en el área de estudio son Ophiuridae y Amphiuridae. Obtuvieron datos batimétricos para 24 especies, nuevos datos de distribución geográfica para 32 especies y 13 nuevos registros para el área del Golfo de México.

Laguarda-Figueras *et al.* (2009), revisaron las especies de ofiuroides que se distribuyen en el Caribe Mexicano y Golfo de México. Incluyeron una clave dicotómica para la identificación de estos organismos, así como la descripción taxonómica de cada orden, familia y género. Adicionalmente, describieron brevemente y acompañaron con una sinonimia, datos sobre batimetría y distribución geográfica a cada una de las especies.

Bribiesca (2010), realizó un estudio sobre la biodiversidad de ofiuroides en el arrecife de Isla Verde dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) y encontró que la especie que tiene una mayor distribución es *Ophiotrix angulata*. Reportó un nuevo registro para el Golfo de México (*Ophiactis algicola*), tres para el estado (*Ophiactis algicola*, *Ophiocoma paucigranulata* y *Ophiolepis gemma*) y cuatro para el PNVSAV (*O. algicola*, *O. paucigranulata*, *O. gemma* y *Amphipholis gracillima*).

Hernández-Herrejón y Solís-Marín (2010), contribuyeron al conocimiento de la biodiversidad de Campeche, elaborando un recuento de las especies reportadas para este estado. Hasta esa fecha se tenían registradas 22 especies de equinodermos repartidas en dos órdenes, 11 familias y 16 géneros. El orden Ophiurida fue el mejor representado, la especie *Ophiophragmus wurdemani* fue la más abundante y la especie *Ophiothrix angulata* fue la que presentó la distribución más amplia.

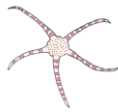


Huerta (2010), realizó una colecta de equinodermos en las localidades de Mahahual y Xcacel en las costas de Quintana Roo. Identificó ocho especies de la clase Ophiuroidea y elaboró una clave taxonómica para las especies en la zona, así como un catálogo descriptivo de los organismos de ambas localidades.

Solís-Marín *et al.* (2014), revisaron los ejemplares de equinodermos de mar profundo de la Colección Nacional de Equinodermos (ICML, UNAM), la Colección de Equinodermos del “Natural History Museum, Smithsonian Institution”, Whashington, DC., EUA, y los reportados en la bibliografía. Contabilizaron 348 especies distribuidas en el Océano Pacífico mexicano (188 especies), Caribe mexicano (111 especies), Golfo de México (103 especies) y Golfo de California (59 especies). Para la clase Ophiuroidea fueron reportadas 134 especies. Los registros abundantes corresponden al Pacífico mexicano, seguido por el Caribe mexicano, el Golfo de México y, por último, el Golfo de California.

González-Gándara *et al.* (2015), evaluaron las diferencias espaciales a diferentes escalas de la composición y distribución de equinodermos en el norte y sur de Veracruz, utilizaron los índices de similitud de Jaccard y NMDS. Encontraron que la clase Ophiuroidea y Echinoidea son las que presentan mayor riqueza específica y determinaron que el tipo de arrecife y las características del sustrato, así como la profundidad influyen en la riqueza y distribución espacial de los equinodermos.

Parada (2016), dió a conocer las especies de equinodermos del arrecife de Manchones que forma parte del Museo Subacuático de Arte en el estado de Quintana Roo. Determinó 1,318 ejemplares pertenecientes a 36 especies e incluyó el nuevo registro de la especie *Ophiactis muelleri* para el Caribe mexicano. Incluyó la clave taxonómica para la identificación de las especies y láminas descriptivas para cada una de ellas con la información de sinonimias, referencias de identificación, distribución geográfica y batimétrica.



López (2017), estudió la diversidad de especies de equinodermos del arrecife de coral Perla del Golfo, Veracruz. Obtuvo organismos distribuidos en cuatro clases, ocho órdenes, 12 familias, 13 géneros y 13 especies. El ofiuo *Ophiactis savignyi* fue la especie más abundante. Bajo las rocas *Ophiotrix angulata* fue la especie que presentó una mayor abundancia, seguida por *Amphiura stimpsonii*, *Amphipholis squamata*, *Ophionereis reticulada* y *Ophiocoma paucigranulata*.

Gualito (2018), estudió la diversidad de equinodermos en Bahía de Akumal, Quintana Roo. Identificó y elaboró una clave taxonómica a nivel específico para 46 especies e incluyó 36 nuevos registros respecto a los reportes previos en esta localidad y un nuevo registro para el Caribe mexicano de la especie *Ophiophragmus moorei*.

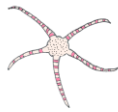
## HIPÓTESIS

En el arrecife de Akumal, Quintana Roo, existen tres zonas que se diferencian por el grado de perturbación o influencia antropogénica: 1) Bahía de Akumal localidad catalogada como zona perturbada, 2) Laguna Yal-ku catalogada como intermedia y 3) Bahía de la Media Luna catalogada como no perturbada. Si las condiciones ambientales en el arrecife catalogado como no perturbado son las óptimas para la comunidad de ofiuroides, entonces mostrará una mayor composición, riqueza, abundancia y diversidad, que en aquellas que presenten un mayor grado de perturbación.

## OBJETIVOS

### *Objetivo General*

Comparar la comunidad de ofiuroides en tres localidades con diferente grado de perturbación en el arrecife de Akumal, Quintana Roo, México.



### *Objetivos Particulares*

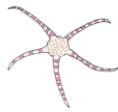
En las tres zonas con diferente grado de perturbación del arrecife de Akumal, Quintana Roo:

- Estimar la riqueza específica.
- Elaborar un catálogo por especie que incluya: diagnóstico, descripción, número de organismos revisados, medidas de los organismos revisados y distribución.
- Determinar la abundancia de individuos por especie.
- Calcular el índice de diversidad de Shannon y la prueba t de Hutcheson.
- Calcular los índices de dominancia de Simpson, de diversidad máxima y de equitatividad de Pielou.
- Determinar las especies raras, comunes, dominantes y ocasionales mediante un análisis de asociación Olmstead-Tukey.
- Calcular el índice de similitud de Sørensen.
- Comparar la riqueza y diversidad entre las tres localidades de acuerdo al grado de perturbación.
- Comparar la diversidad de especies de ofiuroides con otros estudios en otras localidades.

### **ÁREA DE ESTUDIO**

La península de Yucatán se caracteriza por la escasa presencia de suelo y se compone, en su mayor parte, de una caliza muy dura formada por la solución y precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que cementa granos y fragmentos de conchas (González *et al.*, 1999). Estas rocas del Mioceno y Pleistoceno, favorecen la infiltración del agua de lluvia hacia las capas interiores de los sistemas subterráneos formando depósitos y corrientes subterráneas que pueden llegar a desembocar en el mar.



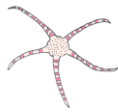


El medio marino además de contar con aportes de escorrentías epicontinentales, se ve afectado también, en un modo aún no cuantificado, por las filtraciones desde los sistemas freáticos, que corren bajo la península de Yucatán (Mata, 2012). Se considera que éstas filtraciones pueden llevar consigo materia orgánica disuelta, nutrimentos minerales e inclusive pesticidas, hidrocarburos y desechos industriales tóxicos (Garza-Pérez, 1999).

La región Akumal se ubica entre los 20°24' N y 87°19' W en el municipio de Tulum, Quintana Roo, a 100 km de la ciudad de Cancún y al noreste de la península de Yucatán. Presenta un clima cálido subhúmedo (Aw1 y Aw2) (Garza-Pérez *et al.*, 2010), sus aguas se caracterizan por una gran transparencia y por presentar una corriente que corre de norte a sur. El régimen de marea es semi-diurno de poca amplitud, tiene una temperatura media de 27.5°C y una salinidad promedio de 35.6 a 36.7 ppm (Borges, 2003).

El arrecife de Akumal forma parte del sistema de arrecifes bordeantes de Quintana Roo (Garza-Pérez, 2004) y se incluye en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), la segunda barrera arrecifal más grande del mundo, después de la Gran Barrera de Coral australiana. La barrera arrecifal se puede dividir en sectores norte y sur en base a su estructura, el crecimiento y el uso antropogénico de pesca. Akumal pertenece al sector sur que se extiende desde la Bahía de la Ascensión a Xcalac y se caracteriza por formaciones masivas de los corales *Montastrea* sp. y *Diploria* sp. en el arrecife posterior, mientras que la cresta está dominada por hidrocorales y algas, y con un arrecife delantero bien desarrollado, éste sector presenta un menor uso antropogénico (Alvarez-Hernández, 2003). La región de Akumal, es un complejo turístico que cuenta con tres cuerpos de agua costeros principales: la Bahía de Akumal, la Laguna de Yal-ku y la Bahía de la Media Luna (Figura 5).

La Bahía de Akumal (20°23'31.8" N, 87°18'15.1" W) presenta un sustrato arenoso, grandes extensiones de pastos marinos y parches de coral aislados

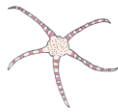


(Díaz-Ruiz, 2002). Fue categorizada como perturbada, debido a que una gran cantidad de turistas visitan el arrecife para practicar esnorqueleo y observar a las tortugas marinas que se alimentan de los pastos marinos presentes. Se sabe que desde el verano de 2011 hasta el verano del año 2014 el número de buceadores mensuales aumentó en más de 400%, mientras que la cobertura de coral disminuyó en un 79%. Por lo tanto, el efecto de esta presión turística sobre la comunidad béntica es negativa, sobre todo para algunas morfologías de coral y la abundancia de peces herbívoros en el arrecife (Gil *et al.*, 2015).

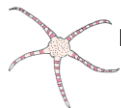
La Laguna Yal-ku (20°24'31.5" N, 87°18'0.4" W) tiene un aporte de agua dulce cuya influencia se extiende a una longitud aproximada de 800 m desde la costa, presenta sustrato arenoso, con áreas rocosas cubiertas de algas y comunidades coralinas (Mata, 2012). Fue categorizada como localidad con perturbación intermedia, debido a que presenta una menor influencia turística. Sin embargo, en ésta zona, se ha registrado un nivel alto de bacterias del género *Enterococcus* asociadas a la materia fecal (Baker *et al.*, 2010).

La Bahía de la Media Luna (20°24'13.5" N, 87°18'15.1" W) tiene un sustrato rocoso-arenoso con presencia de pastos marinos y zonas de coral (Díaz-Ruiz, 2002). Fue categorizada como no perturbada, debido a la menor influencia turística por ser una playa privada y por los menores niveles de bacterias del género *Enterococcus* (Baker *et al.*, 2010).

La concentración de bacterias en el agua se mide por la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) por cada 100 ml de agua. En México no está establecida la cantidad de UFC por mililitro permitida para aguas recreativas, pero en Estados Unidos de América, la norma de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para aguas recreativas establece como valor máximo 35 UFC por cada 100 mL (Baker *et al.*, 2010). En la Laguna de Yal-ku el valor de *Enterococcus* es de 59 UFC por cada 100 mL, mientras que en Bahía de la Media Luna el valor es de 40 UFC por cada 100 mL (Baker *et al.*, 2010). Sin



embargo, no se conocen efectos directos de estas bacterias sobre el ambiente marino. Únicamente se sabe que están relacionadas con la aparición de gérmenes patógenos para los humanos (Sánchez, 2015).



Los ofiuroides (Echinodermata) de Akumal, Quintana Roo, México: efecto del grado de perturbación antropogénica sobre la diversidad

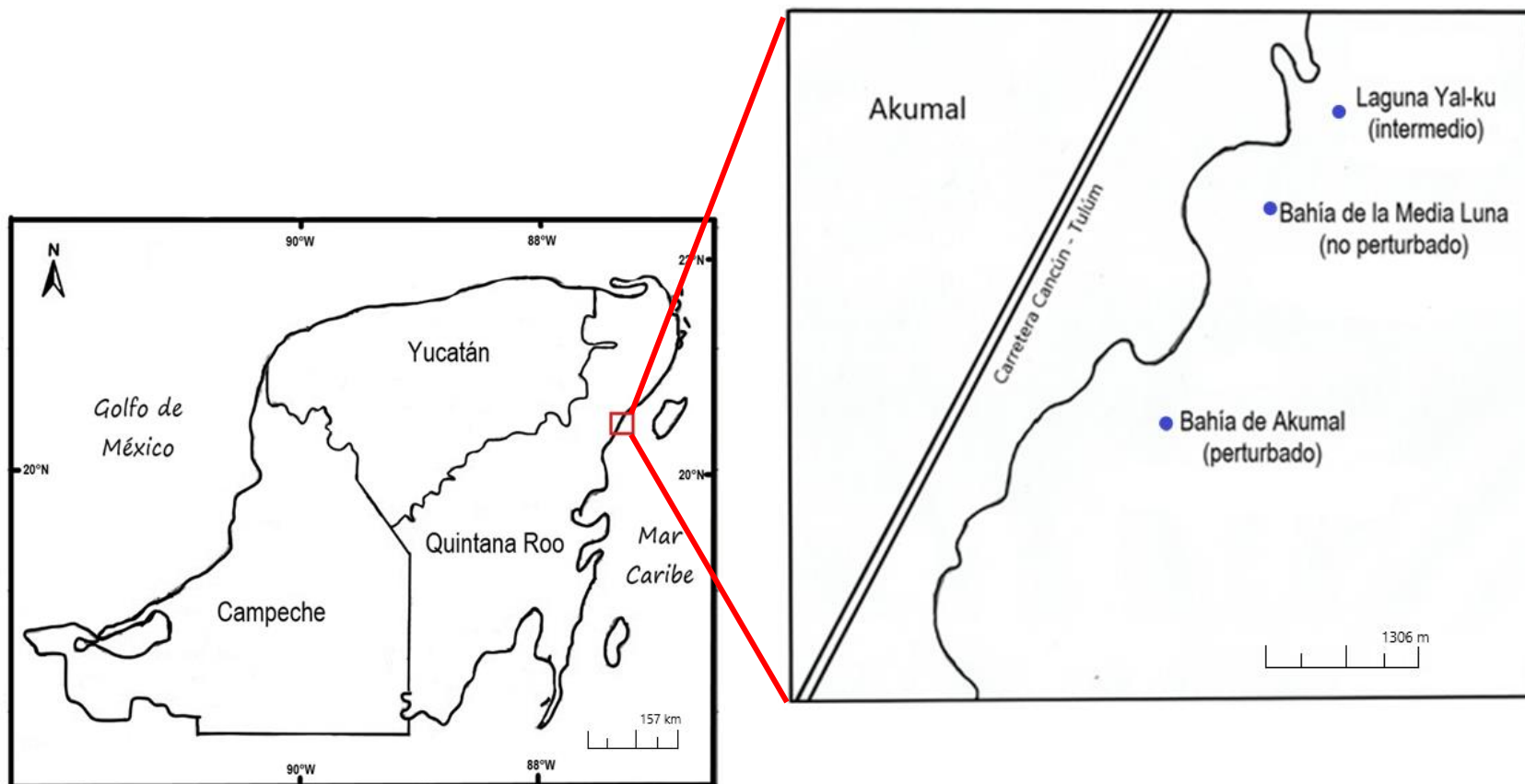
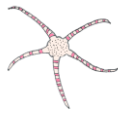


Figura 5. Arrecife de Akumal, Quintana Roo, México. Se muestran las localidades muestreadas y su grado de perturbación.



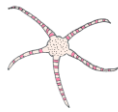
## MATERIAL Y MÉTODO

### *Trabajo de campo*

La investigación se realizó en tres sitios con diferente grado de perturbación en la región de Akumal, Quintana Roo. En total se realizaron cinco muestreos para cada sitio, en los meses de: octubre de 2014; enero, abril, julio y octubre de 2015. En cada uno de los meses se abordó una lancha de motor de la playa de Akumal hasta el primer punto de muestreo “Bahía de Akumal”, posteriormente se trasladó a los siguientes dos puntos de muestreo en dirección sur a norte (inició en Bahía de Akumal y terminó en la Laguna Yal-ku). En cada punto se recolectó una muestra con su réplica. El muestreo consistió en la recolecta de fragmentos de coral muerto sueltos (principalmente de las especies *Acropora palmata* y *Diploria* sp.), utilizando equipo autónomo de buceo (SCUBA) y colocándolo en bolsas de plástico previamente etiquetadas con el nombre de la localidad, estas bolsas fueron colocadas en una cubeta con agua de mar sobre la embarcación.

Al término de los muestreos en las tres zonas, se trasladaron las cubetas con las bolsas que contenían los fragmentos de coral y agua marina a la playa de Akumal y posteriormente al Centro Ecológico Akumal (CEA). En este lugar, las bolsas sin agua fueron pesadas con un dinamómetro de 15 kg para obtener 3 kg de fragmento de coral por punto de muestreo más su réplica.

Después de pesar la muestra, cada bolsa fue colocada en una cubeta, en la cual, se colocó agua dulce por quince minutos para dar un shock osmótico a los organismos y así, obligarlos a salir de sus refugios, con lo cual, la búsqueda de los invertebrados asociados fue más eficiente. Posteriormente con pinzas de punta fina tipo “relojero” se colectaron los organismos que se encontraban sobre los fragmentos de coral y se raspó el mismo con un cepillo de cerdas delgadas para la obtención de sedimento. A continuación, se procedió a la fragmentación de la



muestra en pedazos más pequeños con martillo y cincel para la obtención de los organismos que se encontraban en las cavidades del fragmento de coral.

Los organismos fueron separados por grupo de invertebrado y se colocaron en tubos Falcon de 50 ml de capacidad, etiquetados y rellenos con alcohol al 70% para su preservación. El sedimento también fue colectado en uno de estos tubos para observarlo posteriormente con ayuda de un microscopio estereoscópico para recolectar los organismos que se encontraran ahí. Además, se filtró toda la muestra de la cubeta para obtener aquellos organismos que se desprendieron debido al shock osmótico.

#### *Trabajo de gabinete*

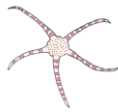
Las muestras de ofiuroides fueron procesadas en el laboratorio de la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR) del Instituto de Biología, UNAM, en donde se procedió con la identificación taxonómica de cada organismo hasta nivel específico de acuerdo a las siguientes claves taxonómicas: Hendler *et al.* (1995), Pomory (2007) y Laguarda-Figueras *et al.* (2009) y siguiendo la clasificación propuesta por O'Hara *et al.* (2018). Posterior a la identificación, cada especie fue fotografiada con un microscopio de capas, marca Leica, modelo DFC 490, objetivo 2x. Se contabilizó el número de individuos de cada especie y se obtuvieron las medidas del disco central y de los brazos de cada organismo.

#### *Análisis estadísticos*

Se realizaron histogramas de riqueza y abundancia de los organismos. Con la utilización del paquete estadístico SPSS. Para el análisis de diversidad se utilizaron los siguientes índices por sitio:

Índice de diversidad de Shannon (1949) ( $H'$ )

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \times \ln p_i)$$



Dónde: S= Número de especies y  $p_i$ = abundancia relativa de cada especie.

Para realizar comparaciones pareadas de los valores del índice de diversidad se realizó la prueba t de Hutcheson (1970)

$$t = \frac{H_a - H_b}{\sqrt{s_{H_a}^2 + s_{H_b}^2}}$$

Dónde: H= índice de diversidad de Shannon para cada una de las muestras (subíndices a y b) y  $S^2_H$ = la varianza de las dos muestras.

Para calcular la varianza:

$$s_H^2 = \frac{\sum p \cdot (\ln p)^2 - (\sum p \cdot \ln p)^2}{N} + \frac{S-1}{2N^2}$$

Dónde: S= número total de especies, N= abundancia total, p= proporción de cada especie con respecto al total.

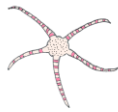
Para calcular los grados de libertad:

$$df = \frac{(s_{H_a}^2 + s_{H_b}^2)^2}{\left( \frac{(s_{H_a}^2)^2}{N_a} + \frac{(s_{H_b}^2)^2}{N_b} \right)}$$

Dónde: N= la abundancia total de cada muestra y  $S^2_H$ = varianza de cada muestra.

Una vez calculados los valores de t y los grados de libertad se comparó la t calculada ( $t_c$ ) con t de tablas ( $t_t$ ). Cuando  $t_t$  es mayor que  $t_c$ , las diversidades de las muestras no son significativamente diferentes entre sí. Se utilizó la probabilidad del 95% (0.05 en tabla) para la comparación y análisis de datos.

Índice de dominancia de Simpson (1949) (D)



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

Dónde: n= abundancia de cada especie y N= abundancia de todos los organismos

Diversidad máxima (H'max)

$$Hmax = \log S$$

Dónde: S= número total de especies

Índice de equitatividad de Pielou (1969) (J')

$$J' = \frac{H'}{Hmax}$$

Dónde: H'= Diversidad de Shannon y Hmax= Diversidad máxima

Posteriormente se calculó el índice de asociación Olmstead-Tukey (Sokal *et al.*, 1981) para determinar las especies dominantes, comunes, raras y ocasionales mediante la representación gráfica de los datos de abundancia y frecuencia de aparición relativa para cada especie. Este índice separa a los organismos en cuatro categorías: comunes (baja frecuencia de aparición, pero altas abundancias), dominantes (altas frecuencias de aparición y altas abundancias), raras (bajas frecuencias de aparición y bajas abundancias) y ocasionales (altas frecuencias de aparición y bajas abundancias).

## RESULTADOS

Se identificaron 12 especies de la clase Ophiuroidea, distribuidas en un subgénero, ocho géneros, siete familias, tres subórdenes y dos órdenes. La lista taxonómica de los organismos identificados en las tres localidades del arrecife de Akumal se muestra en la tabla 1.



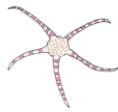
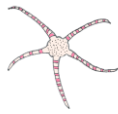
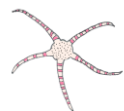


Tabla 1. Clasificación taxonómica de las especies encontradas en el arrecife de Akumal. Se siguió el acomodo taxonómico propuesto por O'Hara et al., 2018.

- 
- Phylum Echinodermata Bruguière, 1791  
Subphylum Asterozoa Blainville, 1830  
Clase Ophiuroidea Gray, 1840  
Subclase Myophiuroida Matsumoto, 1915  
Infraclase Methophiurida Matsumoto, 1913  
Superorden Ophintegrada O'Hara, Hugall, Thuy, Stöhr y Martynov, 2017  
Orden Ophiacanthida O'Hara, Hugall, Thuy, Stöhr y Martynov, 2017  
Suborden Ophiodermatina Ljungman, 1867  
Superfamilia Ophiodermatoidea Ljungman, 1867  
Familia Ophiodermatidae Ljungman, 1867  
Género *Ophioderma* Müller y Troschel, 1840  
***Ophioderma* sp.**  
***Ophioderma brevispina*** (Say, 1825)  
Familia Ophiomyxidae Ljungman, 1867  
Género *Ophiomyxa* Müller y Troschel, 1840  
***Ophiomyxa flaccida*** (Say, 1825)  
Superfamilia Amphiuroida Ljungman, 1867  
Familia Amphiuroidae Ljungman, 1867  
Género *Amphiodia* Verrill, 1899  
***Amphiodia planispina* (v. Martens, 1867)**  
Superfamilia Ophiocomoidea Ljungman, 1867  
Familia Ophiocomidae Ljungman, 1867  
Género *Ophiocoma* L. Agassiz, 1836  
***Ophiocoma echinata*** (Lamarck, 1816)  
Género *Ophiocomella* A.H. Clark, 1939  
***Ophiocomella pumila* (Lütken, 1856)**  
Orden Amphilepidida O'Hara, Hugall, Thuy, Stöhr y Martynov, 2017  
Suborden Ophionereidina O'Hara, Hugall, Thuy, Stöhr y Martynov, 2017  
Superfamilia Ophionereidoidea Ljungman, 1867  
Familia Ophionereididae Ljungman, 1867  
Género *Ophionereis* Lütken, 1859  
***Ophionereis reticulata*** (Say, 1825)  
***Ophionereis squamulosa*** Koehler, 1914  
Suborden Gnathophiurina Matsumoto, 1915  
Superfamilia Ophiactoidea Ljungman, 1867  
Familia Ophiactidae Matsumoto, 1915  
Género *Ophiactis* Lütken, 1856  
***Ophiactis quinqueradia*** Ljungman, 1872  
***Ophiactis savignyi*** (Müller y Troschel, 1842)  
Familia Ophiotrichidae Ljungman, 1867  
Género *Ophiotrix* Müller y Troschel, 1840  
***Ophiotrix brachyactis*** H.L. Clark, 1915  
Subgénero *Ophiotrix* (*Ophiotrix*)  
***Ophiotrix (Ophiotrix) oerstedii*** Lütken, 1856
-



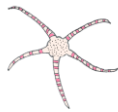
En cuanto a la distribución de las especies, *Ophionereis reticulata* ha sido reportada previamente en los estados de Veracruz y Quintana Roo en el periodo de los años 2004-2018. *Ophiocoma echinata* no ha sido reportada en el arrecife de coral Perla del Golfo. *Ophiocomella pumila* y *Ophiothrix oerstedii* no han sido reportadas en los arrecifes de Isla Verde y Perla del Golfo en Veracruz. Los ofiuroides *Ophioderma brevispina*, *Ophiomyxa flaccida* y *Ophionereis squamulosa* solo han sido reportados en los trabajos realizados en el mar Caribe. La especie *Ophiactis quinqueradia* no se ha reportado para los arrecifes de Mahahual, Xcacel y el museo subacuático de arte en Quintana Roo ni para el arrecife Perla del Golfo en Veracruz. *Ophiactis savignyi* no se ha reportado en los arrecifes de Mahahual y Xcacel en Quintana Roo. Por otra parte, *Ophiothrix brachyactis* solo había sido reportada para la localidad de Puerto Morelos en Quintana Roo y *Amphiodia planispina* no había sido reportada para el Golfo de México y el mar Caribe (tabla 3).



**Los ofiuroides (Echinodermata) de Akumal, Quintana Roo, México: efecto del grado de perturbación antropogénica sobre la diversidad**

Tabla 2. Comparación de las especies de ofiuroides registradas en este trabajo y los trabajos del Golfo de México y mar Caribe durante el periodo 2004-2018.

Lista de especies	Laguarda-Figuera <i>et al.</i> , 2004 Puerto Morelos, Quintana Roo	Hernandez-Herrejón <i>et al.</i> , 2008 Golfo de México	Laguarda-Figuera <i>et al.</i> , 2009 Golfo de México y mar Caribe	Bribiesca, 2010 Isla Verde, Veracruz	Huerta, 2010 Mahahual y Xacel, Quintana Roo	Gonzalez-Gandára <i>et al.</i> , 2015 Arrecifes sur y norte, Veracruz	Parada, 2016 Museo Subacuático de Arte (MUSA) Quintana Roo	López, 2017 Arrecife de coral "Perla del Golfo", Veracruz	García, 2018 Arrecife Puerto Morelos, Quintana Roo	Gualito, 2018 Arrecife de Akumal, Quintana Roo
<i>Ophioderma brevispina</i>	*	*	*		*				*	*
<i>Ophioderma</i> sp.										
<i>Ophiomyxa flaccida</i>	*	*	*							*
<i>Amphiodia planispina</i>										
<i>Ophiocoma echinata</i>	*	*	*	*	*	*	*		*	*
<i>Ophiocomella pumila</i>	*	*	*		*	*	*		*	*
<i>Ophionereis reticulata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Ophionereis squamulosa</i>	*		*				*		*	*
<i>Ophiactis quinqueradia</i>	*	*	*	*		*			*	*
<i>Ophiactis savignyi</i>	*	*	*	*		*	*	*		*
<i>Ophiothrix brachyactis</i>	*		*						*	
<i>Ophiothrix oerstedii</i>	*	*	*		*	*	*		*	*



*Descripción de las especies*

***Ophioderma* sp.** Müller y Troschel, 1840

Figura 6

**Diagnosis:** Presenta gránulos que cubren todo el cuerpo y cinco espinas lisas en cada placa lateral. Dos escamas tentaculares cubren cada poro del brazo. El disco presenta hendiduras genitales dobles.

**Descripción:** De coloración blanca, con manchas en posición aboral de color oscuro cada siete segmentos del brazo que se conserva aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. El disco central, los escudos orales, los escudos adorales y las placas del brazo se encuentran cubiertos por gránulos. El diámetro del disco es de 3.5 mm. Cada mandíbula presenta papilas orales y dientes. Con cuatro hendiduras genitales pequeñas en cada espacio interr radial. Los brazos están cubiertos por gránulos y presentan longitudes mayores a 4.6 mm, en cada placa lateral se presentan cinco espinas lisas, más cortas que el segmento del brazo. Cada poro del brazo está cubierto por dos escamas tentaculares.

**Número de organismos revisados:** 1.

**Nota:** se trata de un organismo juvenil, por lo que no fue posible identificarlo a nivel específico.

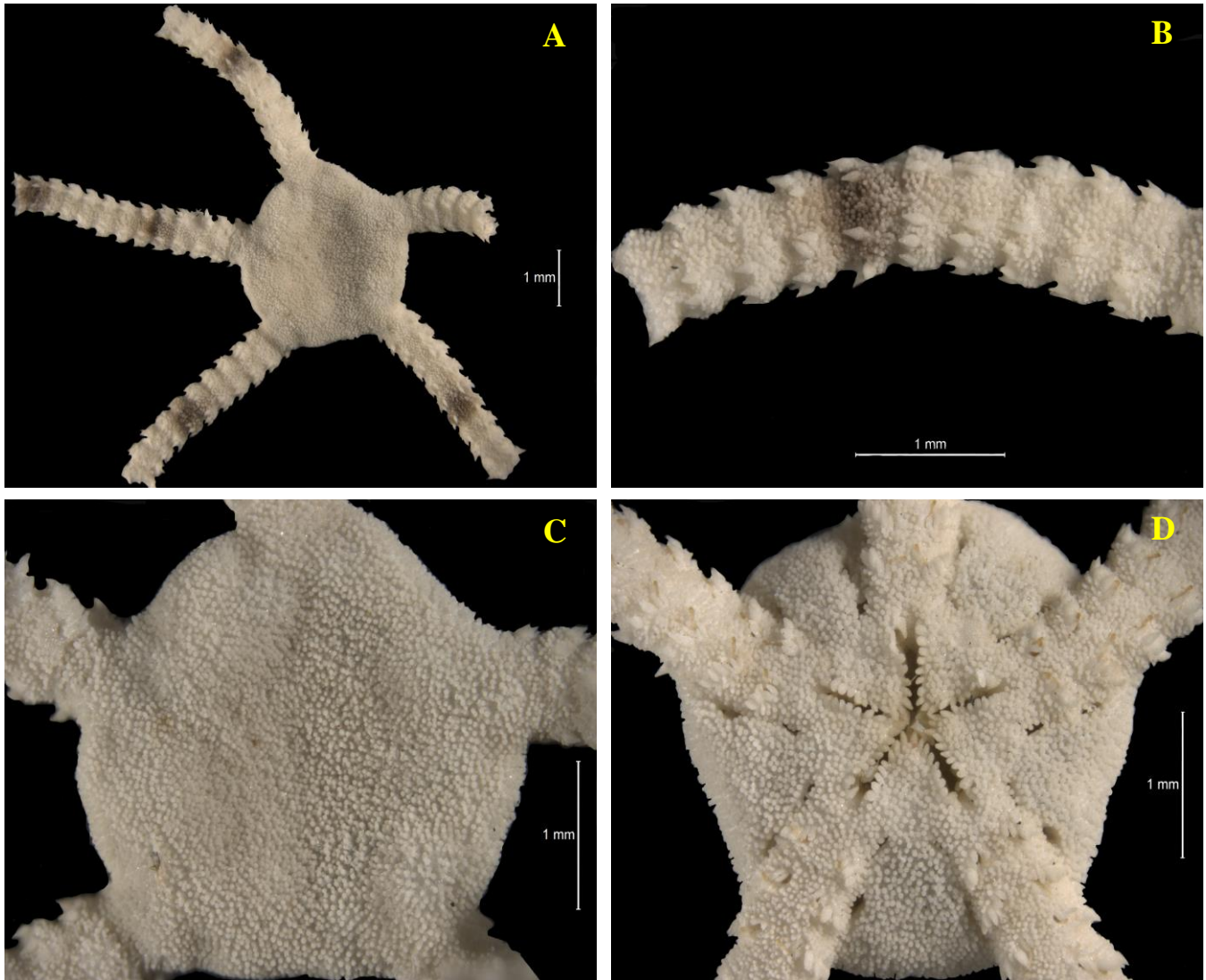
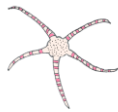


Figura 6. *Ophioderma* sp.: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophioderma brevispina*** (Say, 1825)

Figura 7

**Diagnosis:** Presenta gránulos redondeados que cubren todo el disco. Mandíbulas con 8 pares de papilas orales y escudos orales en forma de diamante. Placas laterales de los brazos con seis a diez espinas rectas en cada segmento.

**Descripción:** Los organismos presentaron coloraciones muy variables con parches irregulares de color gris, café o rosa en el disco y los brazos; algunos colores se conservan aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. El disco central tiene un ancho que va de 2.4 a 13.8 mm y se encuentra cubierto por gránulos redondeados de tamaño uniforme. Los escudos radiales también se encuentran cubiertos por gránulos por lo que no son visibles. Cada mandíbula presenta 16 papilas orales ovaladas, los escudos orales son un poco más anchos que largos y tienen forma de diamante con extremos redondeados. Presenta cuatro hendiduras genitales pequeñas en cada espacio interr radial. El largo de los brazos va de 14.9 a 37.6 mm, cada placa lateral presenta de siete a diez espinas rectas con punta roma. Cada poro está cubierto por dos escamas tentaculares.

**Número de organismos revisados:** 6.

**Distribución:** Estados Unidos de América, Bahamas, México, Cuba, Jamaica, Haití, Puerto Rico, Islas Vírgenes, Barbados, Belice, Islas del Cisne, Colombia, Aruba, Venezuela, Guyana Francesa y Brasil (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

**Distribución en México:** Cayo Arenas, Campeche; banco Campeche, Yucatán; Cabo Catoche, Isla de la Ascensión, Islas Mujeres, Majahual y Puerto Morelos, Quintana Roo (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

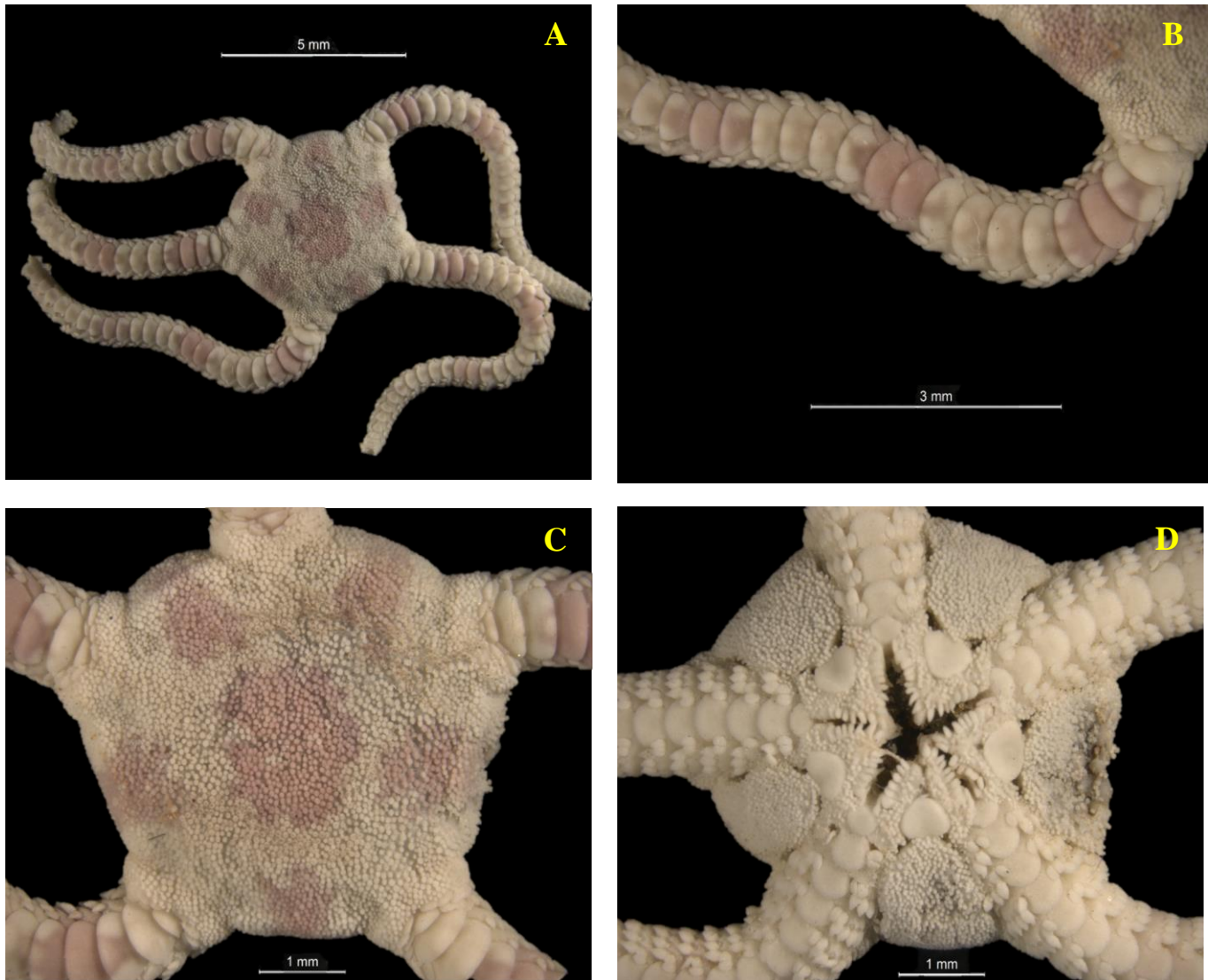
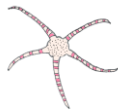


Figura 7. *Ophioderma brevispina*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophiomyxa flaccida*** (Say, 1825)

Figura 8

**Diagnosis:** Cuerpo cubierto por pared corporal lisa y delgada. Las mandíbulas presentan seis papilas orales con bordes transparentes y aserrados. El disco es membranoso, pentagonal y presenta una serie marginal de escamas ovaladas, regulares e imbricadas. Espinas de los brazos con punta muy aguda.

**Descripción:** El organismo presenta color café-verdoso en todo el cuerpo. El disco y los brazos se encuentran cubiertos por pared corporal lisa y delgada que deja ver las placas de los brazos en organismos secos. El disco tiene forma pentagonal de 9.8 mm de ancho con borde delimitado por una hilera de placas ovaladas y sobrepuestas. Las mandíbulas presentan cinco pares de papilas orales, tres pares centrales con bordes transparentes y aserrados y dos pares más externos cuyas papilas son pequeñas y sin borde. Presenta escudos orales un poco más anchos que largos y en forma de diamante. La longitud del brazo más largo fue de 46.3 mm; la placa aboral del brazo es más ancha que larga y las placas laterales presentan cuatro espinas cortas y planas de textura áspera al tacto por la presencia de pequeños ganchos en la espina más ventral.

**Número de organismos revisados:** 1.

**Distribución:** Bermuda, Florida, Bahamas, Golfo de México, Cuba, Jamaica, Haití, Puerto Rico, Islas Vírgenes, Antigua y Barbuda, Guadalupe, Santa Lucía, Barbados, Trinidad y Tobago, Curazao, Belice, Isla de Providencia, Panamá, Colombia, Venezuela, Antillas Holandesas y Brasil (Laguarda-Figuera *et al.*, 2009).

**Distribución en México:** Arrecife Triángulos, Cayo Arenas, Campeche; Yucatán y Bahía de la Ascensión, Cabo Catoche, Puerto Morelos, Isla Contoy, Cayo Lobos, Quintana Roo (Laguarda-Figuera *et al.*, 2009).



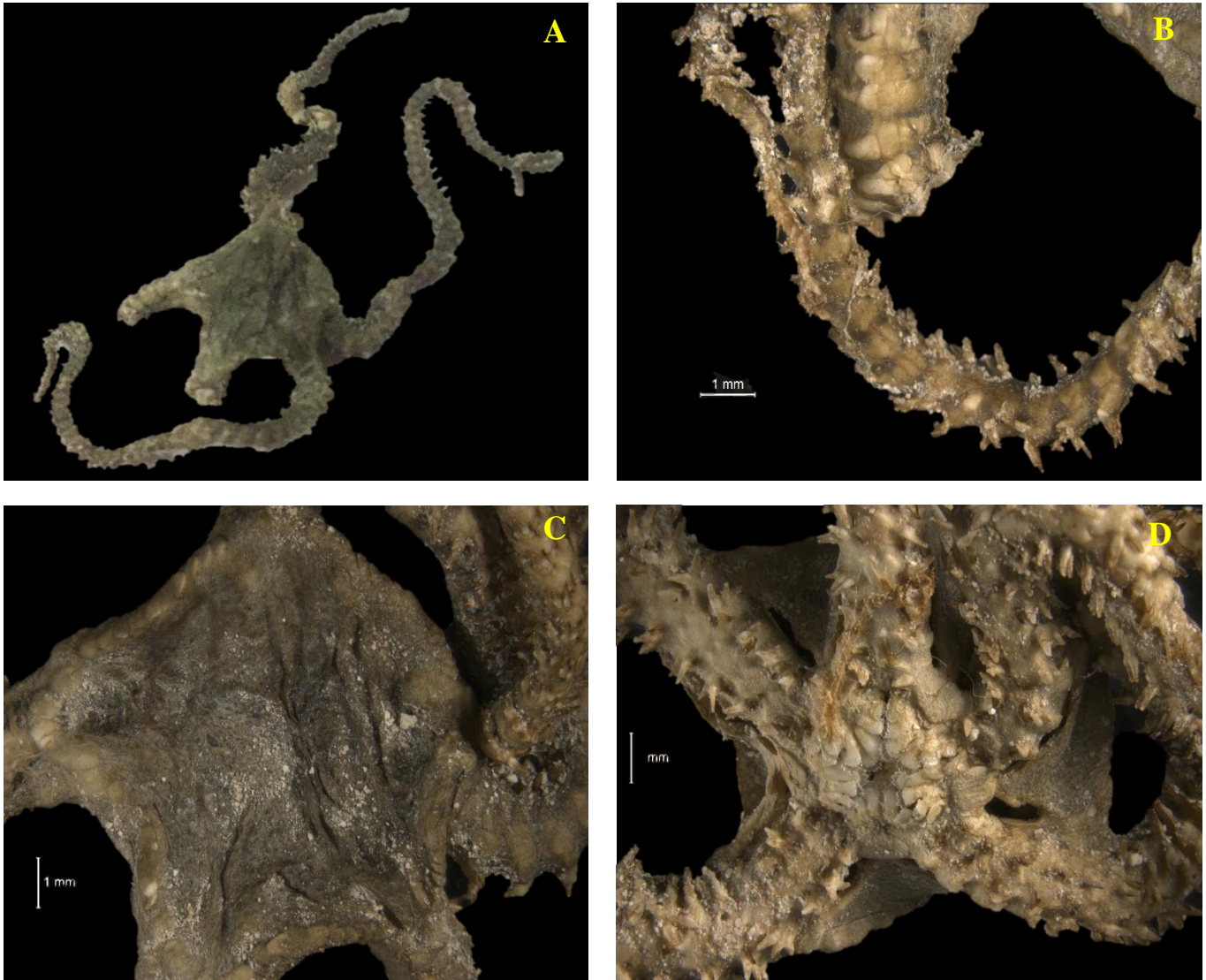
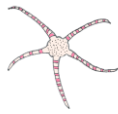


Figura 8. *Ophiomyxa flaccida*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista oral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Amphiodia planispina*** (v. Martens, 1867)

Figura 9

**Diagnosis:** Disco de apariencia hinchada; presenta escamas imbricadas en todo el disco y escudos radiales curvos y separados en la parte distal. Con tres pares de papilas orales. En cada lado de los segmentos del brazo presenta tres espinas y dos escamas tentaculares.

**Descripción:** El disco presenta una coloración gris-azulosa que se pierde cuando se preservan en alcohol. Disco de contorno circular y apariencia abultada con diámetro de 0.3 mm, presenta una placa centrodorsal redonda, rodeada por escamas imbricadas que cubren todo el disco. Los escudos radiales son curvos en el margen externo, cada par se encuentra separado por una escama en la parte más distal. Cada mandíbula presenta tres pares de papilas orales, la más externa tiene una apariencia rectangular y las restantes son de apariencia ovalada y alargada. Los escudos orales son triangulares y tienen una base redondeada, separan a dos escudos adorales de apariencia rectangular. En cada espacio interr radial presenta dos hendiduras genitales. Los brazos tienen una longitud mayor a 0.6 mm, la placa aboral es cuadrada, las placas laterales se unen en la parte más proximal de cada segmento y presentan tres espinas que terminan en punta roma. Cada poro está cubierto por dos escamas tentaculares.

**Número de organismos revisados:** 1.

**Distribución:** Desde Florida hasta Argentina, incluyendo a Colombia (Hendler *et al.*, 1995).

**Distribución en México:** Se presenta el primer registro para México de esta especie.

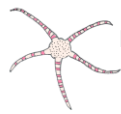


Figura 8. *Amphiodia planispina*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista oral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophiocoma echinata*** (Lamarck, 1816)

Figura 10

**Diagnosis:** Presenta gránulos ovalados que cubren el disco y los escudos radiales. El tercer y cuarto segmento del brazo presentan tres espinas y los segmentos posteriores presentan un número diferente de espinas en cada placa lateral. Presenta dos escamas tentaculares ovaladas en todos los segmentos.

**Descripción:** Los individuos son de color café uniforme o con patrones de este color que se conserva aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. El disco y escudos radiales se encuentran cubiertos por gránulos ovalados, el tamaño del disco va de 5.6 a 13.1 mm. Las mandíbulas presentan papilas orales y dentales, tienen 11 papilas orales por mandíbula y dientes rectangulares. Los escudos orales son redondeados y grandes. En cada espacio interr radial presenta dos hendiduras genitales. Los brazos tienen una longitud de 17.8 a 64.1 mm. Las espinas son gruesas y tienen las puntas de forma roma, en organismos adultos la espina aboral presenta forma bulbosa de gran tamaño y grosor. Se presentan tres espinas en el tercer y cuarto segmento y en los segmentos posteriores se presenta un número diferente de espinas sobre los lados opuestos de cada segmento. Con dos escamas tentaculares ovaladas a lo largo del brazo.

**Número de organismos revisados:** 9.

**Distribución:** Bermuda, Florida, Bahamas, Golfo de México, Cuba, Jamaica, Haití, Puerto Rico, Santo Tomás, Antigua y Barbuda, Guadalupe, Dominica, Santa Lucía, Barbados, Granadinas, San Vicente, Belice, Panamá, Colombia, Curazao, Brasil e Isla Ascensión (Laguada-Figueras *et al.*, 2009).

**Distribución en México:** Sistema Arrecifal Veracruzano, Veracruz; Cayo arenas, Campeche; Arrecife Alacranes, Yucatán; Bahía Ascensión, Cozumel, Isla Mujeres,



Majahual, Puerto Morelos, Cancún y Banco Chinchorro, Quintana Roo (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

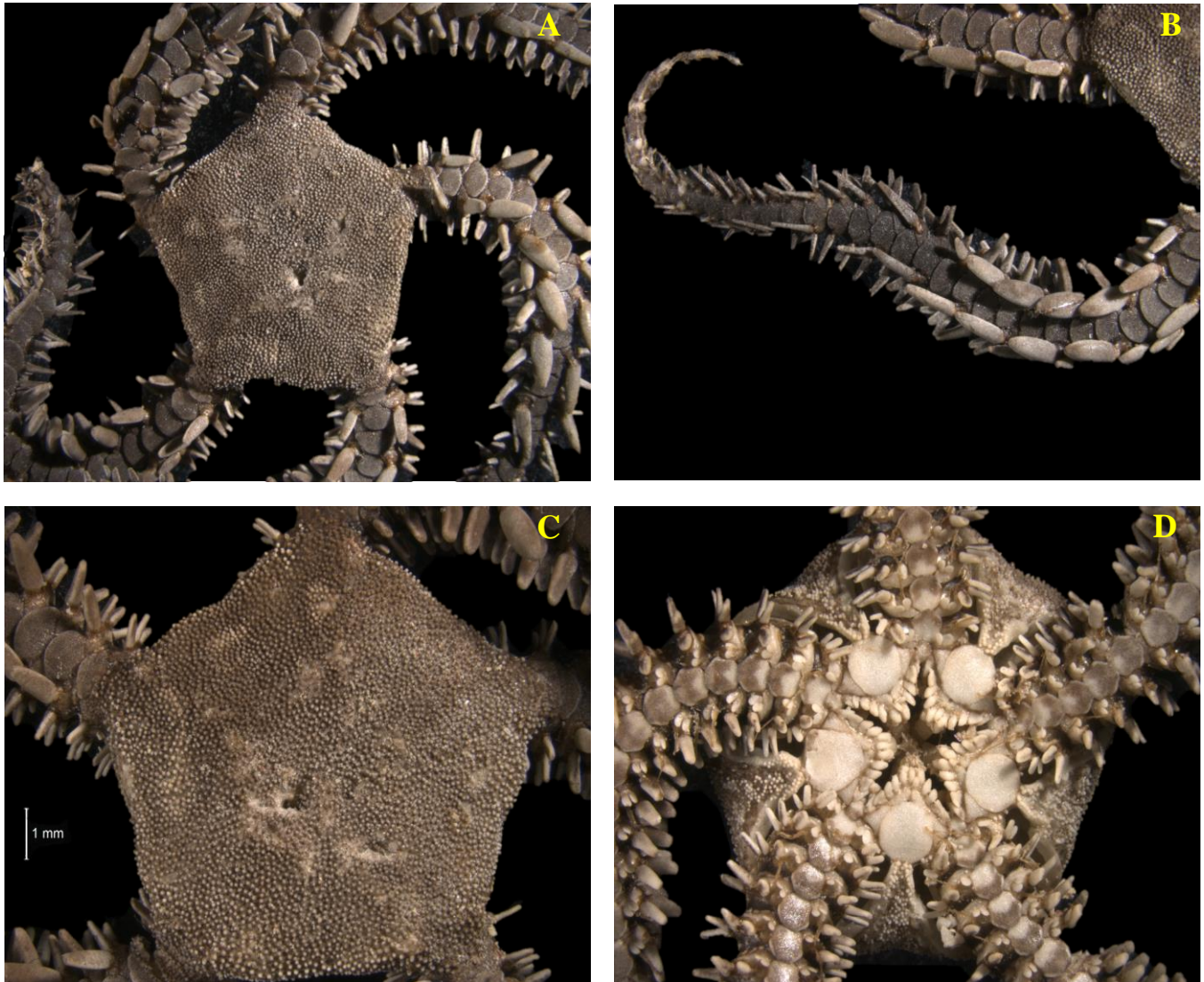


Figura 10. *Ophiocoma echinata*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophiocomella pumila*** (Lütken, 1856)

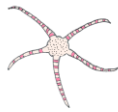
Figura 11

**Diagnosis:** Presenta gránulos ovalados que cubren el disco y los escudos radiales. Con tres espinas en el primer y segundo segmento de los brazos y cuatro en los segmentos subsecuentes. Presenta dos escamas tentaculares en los dos primeros segmentos y solo una en los restantes.

**Descripción:** Los organismos de esta especie presentan el disco y los brazos con patrones de color beige, café oscuro o ambos que se conserva aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. En esta especie se presentó el mayor rango de tallas, el ancho del disco va de 0.09 a 19.8 mm y el largo de los brazos va de 1.7 a 64.3 mm. El disco y los escudos radiales se encuentran cubiertos por gránulos ovalados de tamaño uniforme. Las mandíbulas presentan papilas orales y dentales: cuatro papilas orales, 11 papilas dentales y dientes rectangulares. Los escudos orales son grandes de forma ovalada y separan a los dos escudos adorales pequeños y triangulares. Presenta dos hendiduras genitales de forma alargada por espacio interradial, van desde la parte distal del escudo oral hasta el cuarto segmento del brazo y se encuentran rodeadas por hileras de pequeñas escamas imbricadas en el disco. Las placas aborales de los brazos son de forma ovalada y las espinas tienen forma cilíndrica y puntas romas, los primeros dos segmentos presentan tres espinas en cada placa lateral y cuatro espinas del tercer segmento en adelante. Presenta dos escamas tentaculares en los dos primeros segmentos y solo una escama en los restantes.

**Número de organismos revisados:** 52.

**Distribución:** Bermuda, Florida, Bahamas, Cuba, Jamaica, Banco Pedro, Haití, Puerto Rico, Islas Vírgenes, Antigua y Barbuda, Barbados, Tobago, México, Belice, Panamá, Colombia y Brasil (Laguada-Figueras *et al.*, 2009).



**Distribución en México:** Cerca de Tamiahua, Veracruz; Arrecife Alacranes, Yucatán; Isla Contoy, Cozumel, Bahía de la Ascensión, Cancún, Bahía del Espíritu Santo, Puerto Morelos y Banco Chinchorro, Quintana Roo (Laguarda-Figuera *et al.*, 2009).



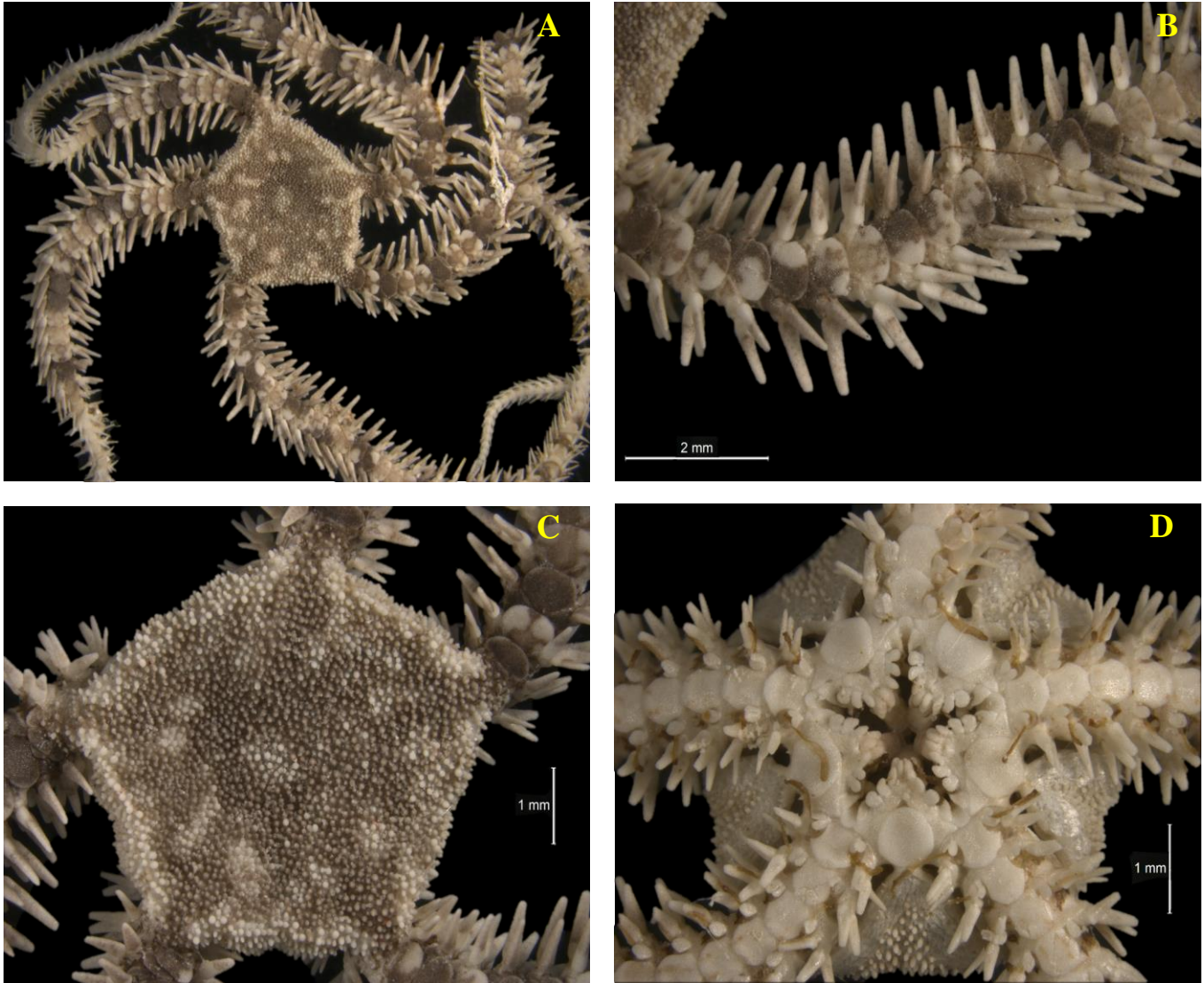
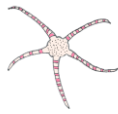


Figura 11. *Ophiocomella pumila*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophionereis reticulata*** (Say, 1825)

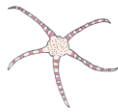
Figura 12

**Diagnosis:** Disco cubierto por escamas imbricadas de diferentes tamaños. Escudos radiales separados entre sí. Con ocho papilas orales por mandíbula. En cada segmento del brazo presenta dos placas dorsales accesorias separadas por una placa dorsal casi rectangular. Presenta tres espinas lisas por placa lateral.

**Descripción:** El disco presenta un patrón reticulado color verde olivo y los brazos patrones de color verde, verde olivo y gris que se conservan aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. El tamaño del disco va de 1.1 a 4.5 mm y se caracteriza por presentar escamas imbricadas de diferentes tamaños y una placa centrodorsal redonda. Los escudos radiales son pequeños, delgados y tienen forma alargada con terminación en punta, se encuentran separados uno de otro por un espacio más o menos equivalente al ancho de los brazos. Cada mandíbula tiene cuatro pares de papilas orales redondeadas y dientes rectangulares. Los escudos orales tienen forma redondeada mientras que los escudos adorales son triangulares. En cada espacio interr radial se presentan dos hendiduras genitales de forma alargada que van desde la parte más distal del disco hasta el tercer o quinto segmento del brazo. La longitud de los brazos va de 5.8 a 27.1 mm y cada segmento presenta dos placas aborales accesorias triangulares separadas por una placa aboral casi rectangular. Las placas laterales son más pequeñas que las placas aborales y sostienen tres espinas lisas de forma cilíndrica con punta roma y generalmente más largas que un segmento del brazo, siendo la espina del medio es la más grande. Cada poro del brazo se encuentra cubierto por una escama tentacular grande y ovalada.

**Número de organismos revisados:** 16.

**Distribución:** Bermuda, Carolina del Sur, Florida, Texas, Bahamas, Cuba, Jamaica, Banco Pedro, Haití, Puerto Rico, Islas Vírgenes, Antigua y Barbuda,



Barbados, Tobago, México, Belice, Panamá, Colombia, Venezuela y Brasil (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

**Distribución en México:** Frente a Tamiahua, Sistema Arrecifal Veracruzano, Veracruz; Arrecife Alacranes, Yucatán; Frente a Cabo Catoche, Cozumel, Isla Mujeres, Bahía de la Ascensión, Puerto Morelos y Banco Chinchorro, Quintana Roo (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

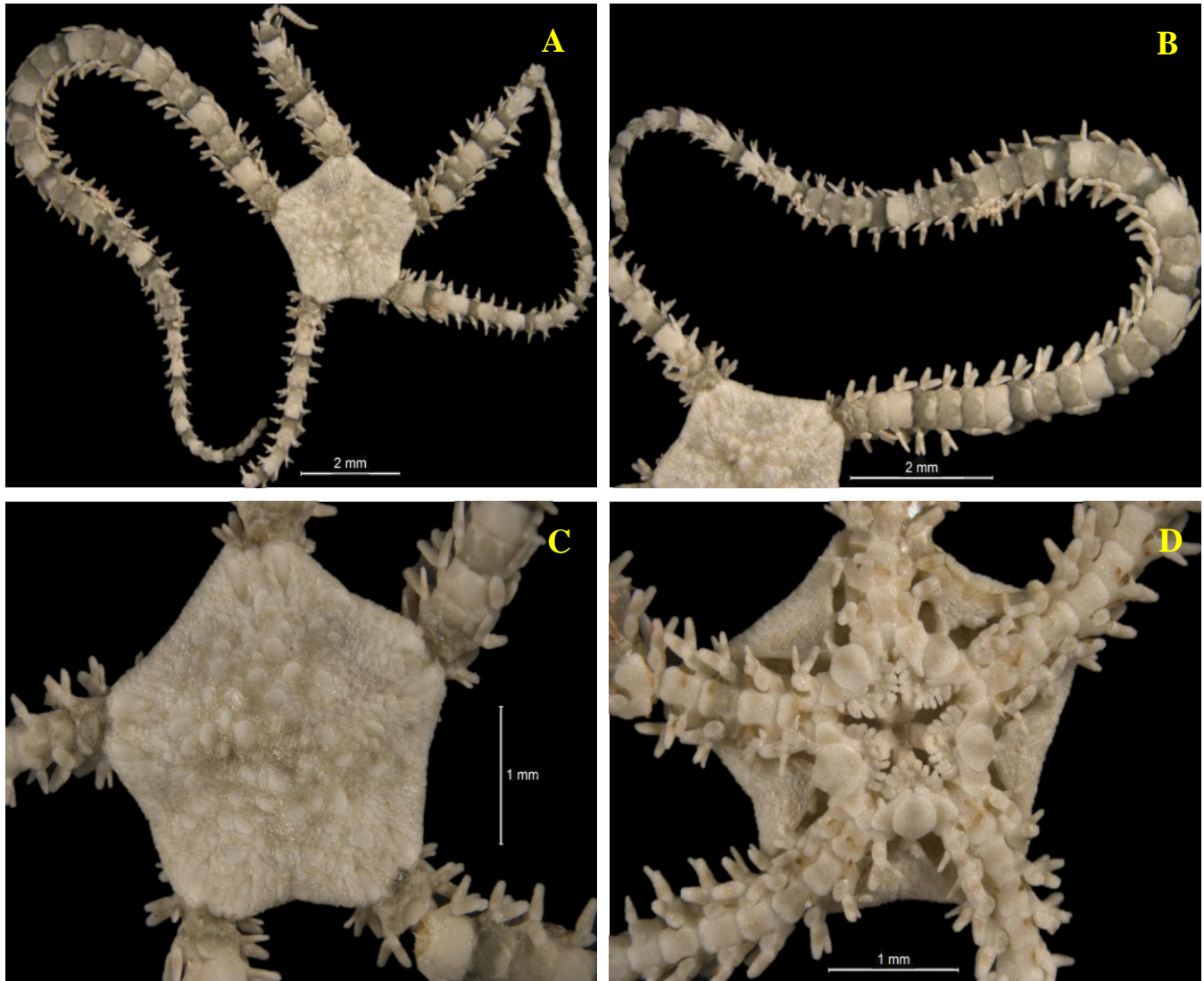
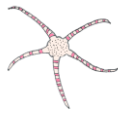


Figura 12. *Ophionereis reticulata*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophionereis squamulosa* Koehler, 1913**

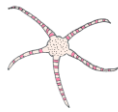
Figura 13

**Diagnosis:** Disco cubierto por escamas imbricadas de diferentes tamaños. Parecida a *Ophionereis reticulata* pero de menor tamaño y con franjas de color marrón rojizo cada tres o cuatro segmentos de los brazos.

**Descripción:** Los organismos presentan patrones de color marrón en el disco y brazos de color verde, verde olivo y gris; presenta una franja de color marrón rojizo cada tres o cuatro segmentos que la distingue de *O. reticulata* y que se conserva aun cuando se encuentran preservados en alcohol. El disco tiene un ancho de 1.3 a 2.6 mm y presenta escamas imbricadas de diferentes tamaños en la región oral y aboral. Los escudos radiales son pequeños, triangulares, alargados y se encuentran separados uno de otro. Cada mandíbula presenta cuatro pares de papilas orales y dientes rectangulares. Los escudos orales son grandes con forma de diamante, mientras que los escudos adorales tienen forma triangular y cubren parte de la primera placa oral del brazo. En cada espacio interr radial se presentan dos hendiduras genitales alargadas que van desde la parte distal del disco hasta el cuarto segmento del brazo. La longitud de los brazos va de 3.9 a 15 mm y cada segmento del brazo presenta dos placas aborales accesorias triangulares separadas por una placa aboral de forma casi cuadrada. Las placas laterales son pequeñas y soportan tres espinas cónicas con punta roma más largas que la longitud de un segmento del brazo, la espina de en medio es la más larga. Cada poro del brazo presenta una escama tentacular grande y ovalada.

**Número de organismos revisados:** 5.

**Distribución:** Florida, Bahamas, Haití, Puerto Rico, Santo Tomás, Tobago, México, Belice y Brasil (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).



**Distribución en México:** Frente a Yucatán; frente a Cabo Catoche, Cozumel, Bahía de la Ascensión, Cancún e Isla Mujeres, Quintana Roo (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

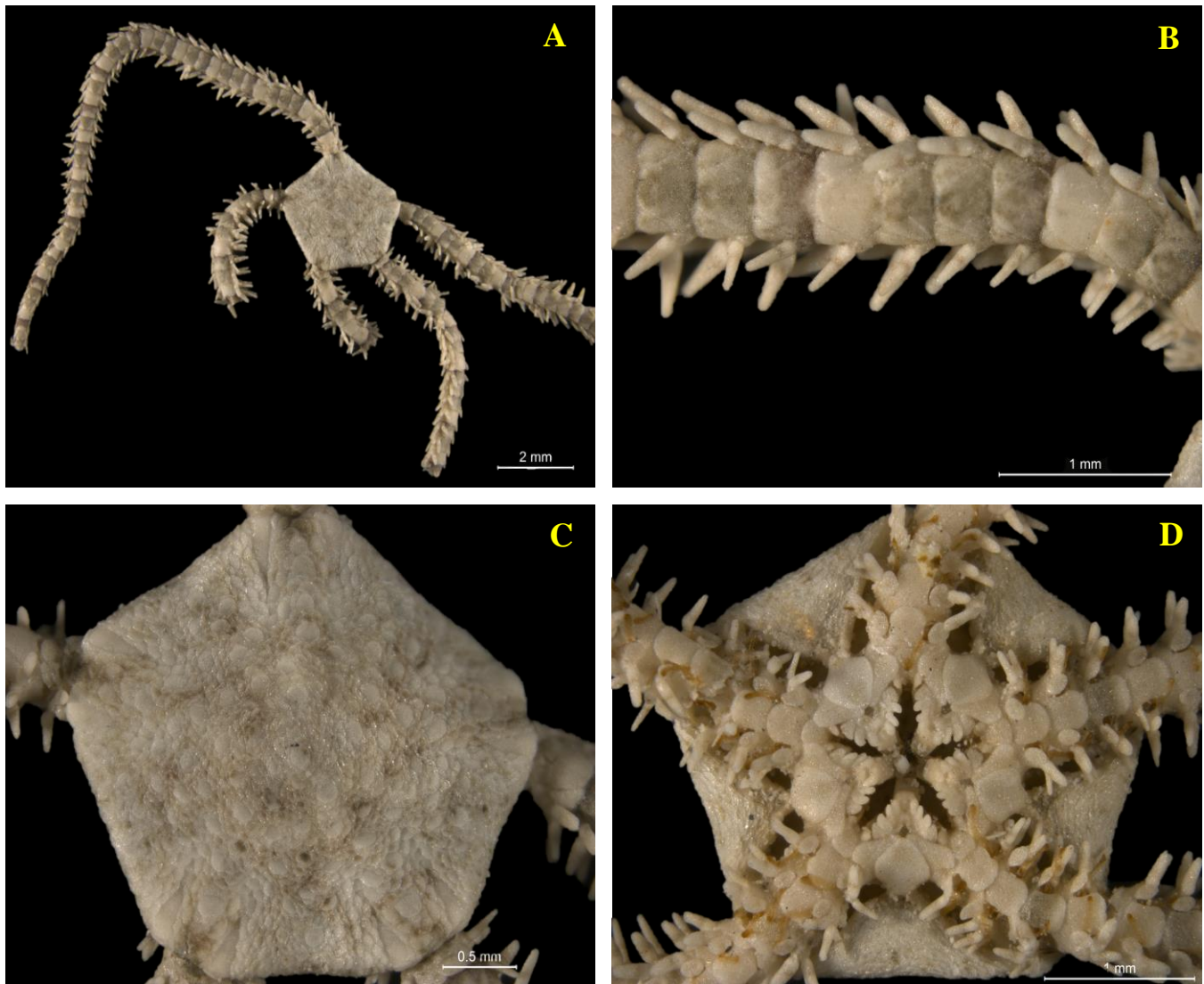
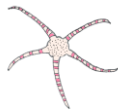


Figura 13. *Ophionereis squamulosa*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophiactis quinqueradia*** Ljungman, 1871

Figura 14

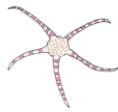
**Diagnosis:** Disco cubierto por escamas imbricadas, presenta espinas pequeñas en el contorno y región oral del disco. Escudos radiales grandes y largos. Mandíbulas con una papila apical y cuatro papilas orales. Placas aborales de los brazos de forma ovalada. Cada segmento del brazo presenta seis espinas en cada placa lateral y una escama tentacular ovalada.

**Descripción:** Los organismos son de color café claro con patrones café oscuro en el disco y segmentos de los brazos, la coloración se conserva aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. El disco tiene un ancho de 2.4 a 4.5 mm y se encuentra cubierto por escamas imbricadas grandes y espinas pequeñas que solo se encuentran en el contorno y en la región oral del disco. Los escudos radiales tienen forma alargada, son grandes, tienen el margen externo curvo y se encuentran separados por tres escamas grandes en la parte cercana al centro del disco. Cada mandíbula presenta una papila apical rectangular grande, cuatro papilas orales ovaladas pequeñas y dientes de forma rectangular. Los escudos orales son pequeños y tienen forma triangular. Los escudos adorales son más grandes que el escudo oral y se tocan en la parte más cercana a las papilas orales. En cada espacio interr radial se presentan dos hendiduras genitales largas que van de la parte más distal del disco hasta el tercer o cuarto segmento del brazo. La longitud de los brazos va de 18.7 a 32.2 mm, cada segmento presenta una placa aboral ovalada, mucho más ancha que larga y cada placa lateral sostiene seis espinas pequeñas, lisas y de punta irregular; la espina media es la más larga. Cada poro del brazo está cubierto por una escama tentacular pequeña.

**Número de organismos revisados:** 2.

**Distribución:** Bahamas, Cuba, Puerto Rico, Islas Vírgenes, Barbados, Golfo de México, Belice, Panamá, Curazao y Brasil (Laguarda-Figuera *et al.*, 2009).





**Distribución en México:** Sistema Arrecifal Veracruzano, Veracruz; Campeche y Quintana Roo (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

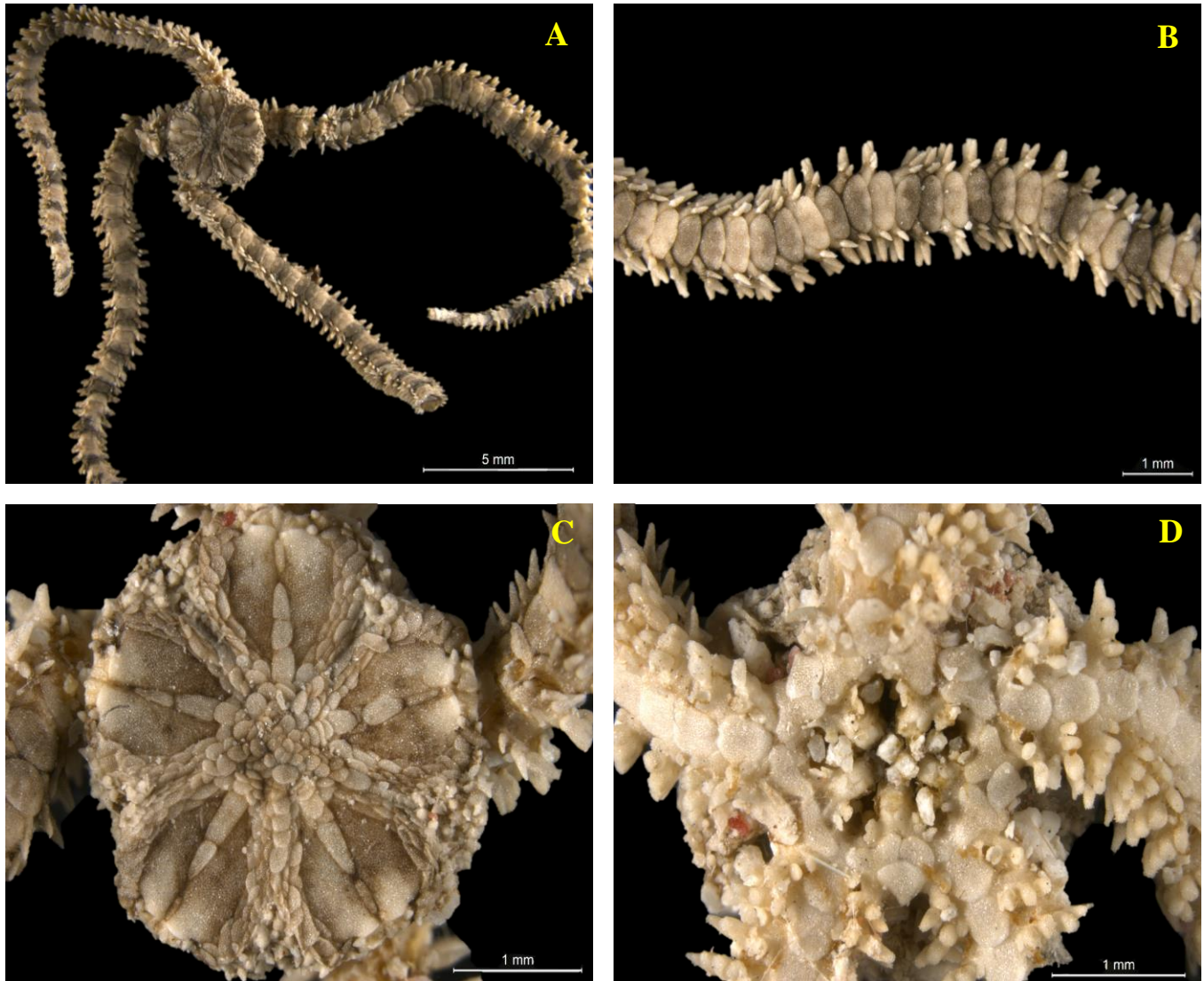
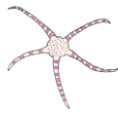


Figura 14. *Ophiactis quinqueradial*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



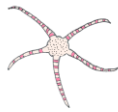
***Ophiactis savignyi*** (Müller y Troschel, 1842)

Figura 15

**Diagnosis:** Disco cubierto por escamas y espinas en el contorno y región aboral. Con una papila apical y dos papilas orales. Escudos radiales alargados y cónicos. Placas aborales de los brazos casi rectangulares. Con dos espinas en el primer segmento de los brazos, cuatro en el segundo y de cuatro a cinco en el resto de los segmentos.

**Descripción:** Los organismos presentan patrones de coloración verde, verde olivo y café claro, los colores se conservan aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. El disco está cubierto por escamas ovaladas, imbricadas y grandes; en el contorno y en la región aboral del disco se presentan pequeñas espinas puntiagudas. Se encontraron organismos pequeños, el ancho del disco es de 1.1 a 2 mm y la longitud de los brazos va de 2.6 a 16.2 mm. Tiene seis pares de escudos radiales de forma cónica y alargados, están separados en la parte proximal por dos o tres escamas. Se presentan seis mandíbulas, cada una presenta una papila apical, dos papilas orales ovaladas pequeñas y dientes rectangulares. Escudos orales grandes en forma de diamante y escudos adorales de forma triangular más o menos del tamaño de los escudos orales. Se presentan dos hendiduras genitales alargadas por espacio interr radial, van desde la región más distal del disco hasta el segundo o tercer segmento del disco. Presenta seis brazos, cada segmento tiene placas aborales grandes de forma casi rectangular y placas laterales pequeñas. Con dos espinas en el primer segmento de los brazos, cuatro en el segundo y de cuatro a cinco en el resto de los segmentos, las espinas tienen forma cónica con punta roma. Cada poro de los brazos está cubierto por una escama tentacular pequeña y ovalada.

**Número de organismos revisados:** 12.



**Distribución:** Japón, Corea, Malasia, Australia, Pacífico Este, Atlántico, Golfo de California, Bermuda, Carolina del Sur, Indias Occidentales, México e Isla Sandwich (Laguarda-Figuera *et al.*, 2009).

**Distribución local:** Frente a Tamiahua, Sistema Arrecifal Veracruzano, Veracruz; Tabasco, Laguna de Términos y Bahía de Campeche, Campeche; Ría Lagartos, Yucatán; Cozumel, Isla Mujeres y Bahía de la Ascensión, Quintana Roo; Acapulco, Guerrero; Baja California; Sonora; Sinaloa y Oaxaca (Laguarda-Figuera *et al.*, 2009).

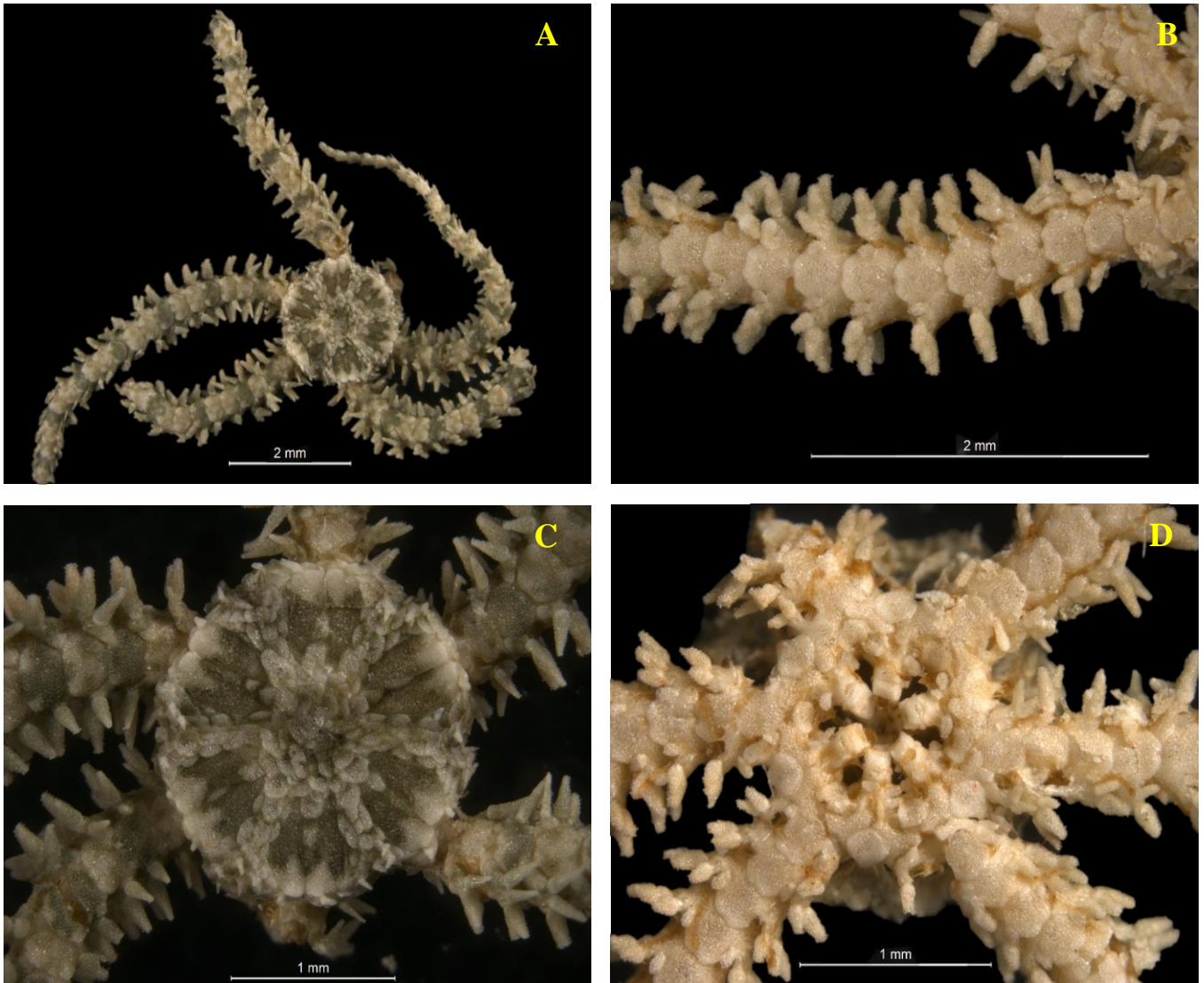
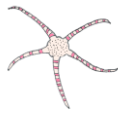


Figura 15. *Ophiactis savignyi*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



***Ophiothrix brachyactis*** H. L. Clark, 1915

Figura 16

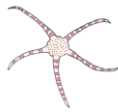
**Diagnosis:** Disco pequeño con pequeñas escamas y gránulos grandes dispersos. Escudos radiales grandes cubiertos por algunos gránulos. Con papilas dentales. Placas aborales de los brazos cuadrangulares. Con espinas aserradas.

**Descripción:** La región aboral del disco, los brazos y las espinas son de color azul, pero en los brazos se presentan manchas irregulares de color gris. El disco es pequeño con relación a los brazos, tiene un ancho de 3.3 a 5.2 mm de tamaño, mientras que la longitud de los brazos va de 10.6 a 23.4 mm. El disco en la región aboral presenta pequeñas escamas imbricadas y gránulos grandes dispersos. Los escudos radiales ocupan gran parte del disco, se encuentran separados entre sí y sobre ellos se encuentran algunos gránulos. En cada mandíbula solo se presentan racimos de papilas dentales. Los escudos orales tienen forma hexagonal y los escudos adorales son triangulares y se encuentran separados por el escudo oral. En cada espacio interr radial se presentan dos hendiduras alargadas que van de la parte más distal del disco hasta el tercer segmento del brazo. Cada segmento presenta placas aborales grandes y cuadrangulares y placas laterales pequeñas. Presenta espinas de forma aserrada cuyo largo es equivalente a dos segmentos del brazo.

**Número de organismos revisados:** 4.

**Distribución:** Barbados, Florida, Dry Tortugas, Cuba, Puerto Rico, St. Barthélemy, Granada, Tobago y Caribe Mexicano (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).

**Distribución en México:** Puerto Morelos, Quintana Roo (Laguarda-Figueras *et al.*, 2009).



**Nota:** el holotipo presenta escudos radiales descubiertos, pero puede ser que sea un carácter variable.

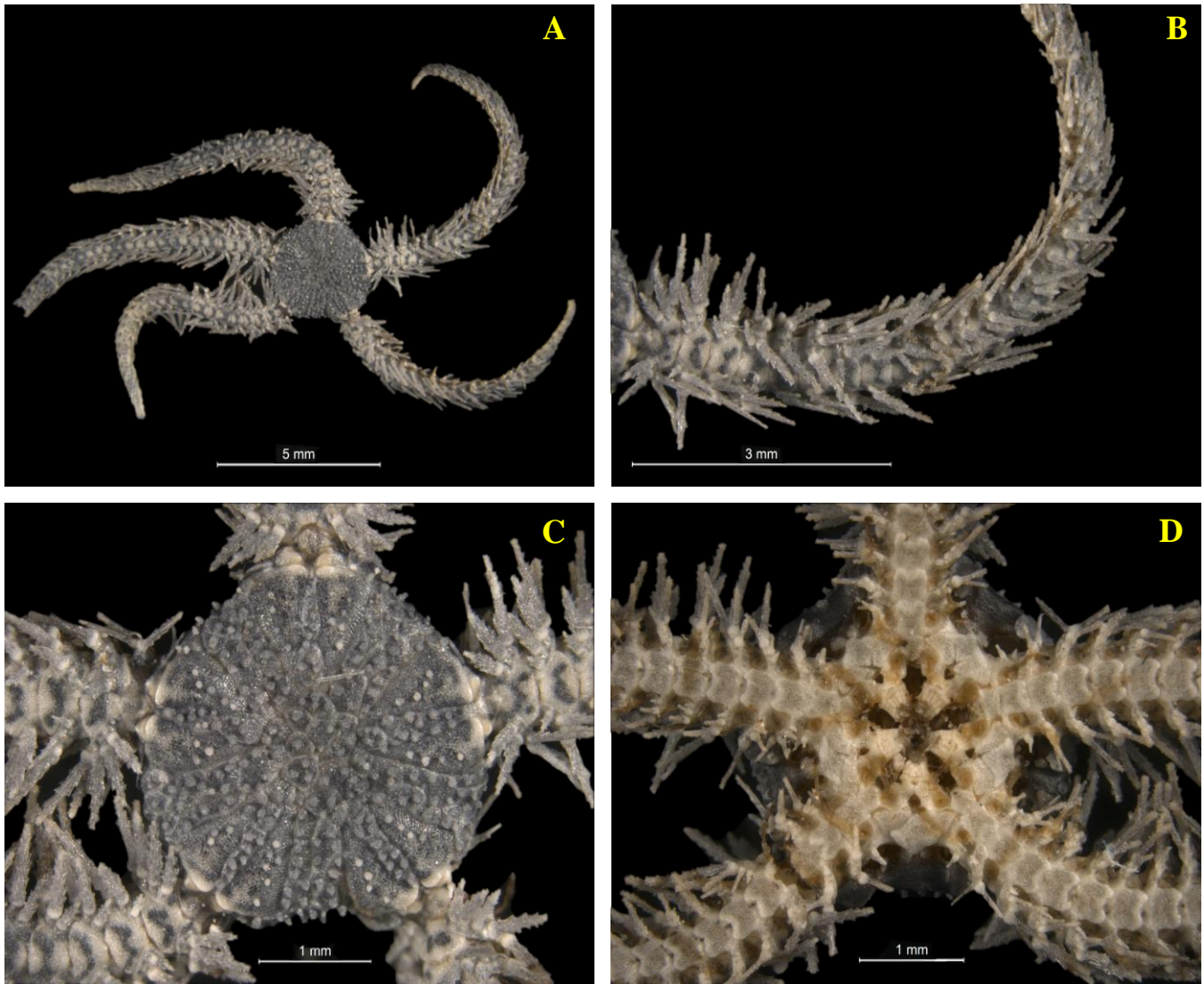


Figura 16. *Ophiothrix brachyactis*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.





***Ophiothrix (Ophiothrix) oerstedii*** Lütken, 1856

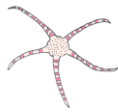
Figura 17

**Diagnosis:** Disco y escudos radiales cubiertos con algunas espinas aserradas con puntas bífidas o trifidas. Con papilas dentales. Placas aborales de los brazos ovaladas. Cada segmento presenta seis o siete espinas aserradas.

**Descripción:** Los organismos son de color azul o gris, los brazos presentan bandas de estos colores interrumpidas por líneas blancas delgadas que están bordeadas a cada lado por una línea negra delgada, la coloración se conserva aun cuando los organismos se encuentran preservados en alcohol. El ancho del disco va de 0.6 a 9.8 mm de tamaño, se encuentra cubierto de espinas aserradas con puntas bífidas o trifidas, las espinas del centro del disco son más largas que las que se encuentran en los bordes del disco. Los escudos radiales tienen forma triangular, están cubiertos por pocas espinas y se encuentran separados por pequeñas escamas. Solo presenta papilas dentales en la punta de cada mandíbula y dientes rectangulares. Los escudos orales son grandes en forma de rombo y los escudos adorales son triangulares, grandes y se encuentran separados en la parte apical de la mandíbula por los escudos orales. Presenta dos hendiduras genitales en cada interrradio. El largo de los brazos va de 1.1 a 67.1 mm, cada segmento presenta placas aborales pequeñas de forma ovalada, placas laterales alargadas y seis o siete espinas aserradas. Cada poro del brazo está cubierto por una escama tentacular.

**Número de organismos revisados:** 17.

**Distribución:** Bahamas, cayos de la Florida y Dry Tortugas, Texas, Cuba, Jamaica, Haití, Puerto Rico, Barbados, Tobago, México, Belice, Panamá, Colombia y Venezuela (Laguada-Figuera *et al.*, 2009).



**Distribución en México:** PNSAV; Ría Lagartos, Yucatán; Isla Mujeres, Puerto Morelos, Bahía de la Ascensión, Banco Chinchorro y Cozumel, Quintana Roo (Laguarda-Figuera *et al.*, 2009).

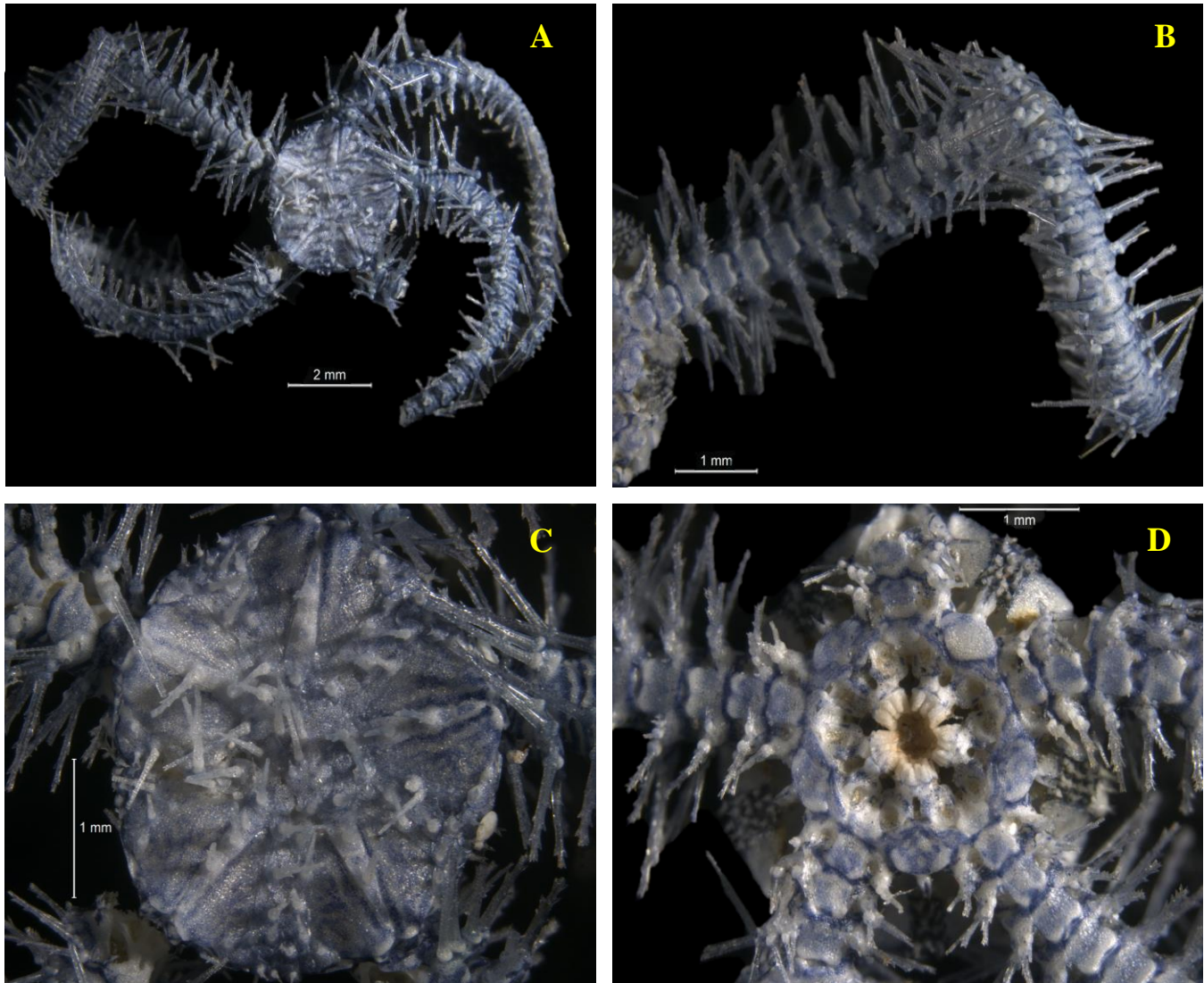
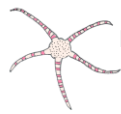
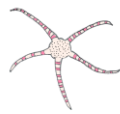


Figura 17. *Ophiothrix (Ophiothrix) oerstedii*: A) organismo completo, B) detalle del brazo en vista aboral, C) detalle del disco vista aboral y D) detalle del disco vista oral.



### Abundancia

Se obtuvieron 168 ejemplares de ofiuroideos en el arrecife de Akumal, el 73% de estos organismos pertenecieron a las especies *Ophiocomella pumila*, *Ophionereis reticulata* y *Ophiothrix oerstedii*, seis especies representaron el 25%, mientras que el 3% restante perteneció a tres especies. En la figura 18 se muestra la abundancia relativa de cada especie.

En cuanto a la abundancia de cada especie por muestreo en las tres localidades de colecta dentro del arrecife de Akumal la especie *Ophiocomella pumila* fue la más abundante y la que apareció en todos los muestreos. Las especies que solo presentaron un organismo y que aparecieron en un solo mes de muestreo, fueron *Ophioderma* sp. (octubre, 2015), *Amphiodia planispina* (abril, 2015) y *Ophiomyxa flaccida* (octubre, 2014) (tabla 4).

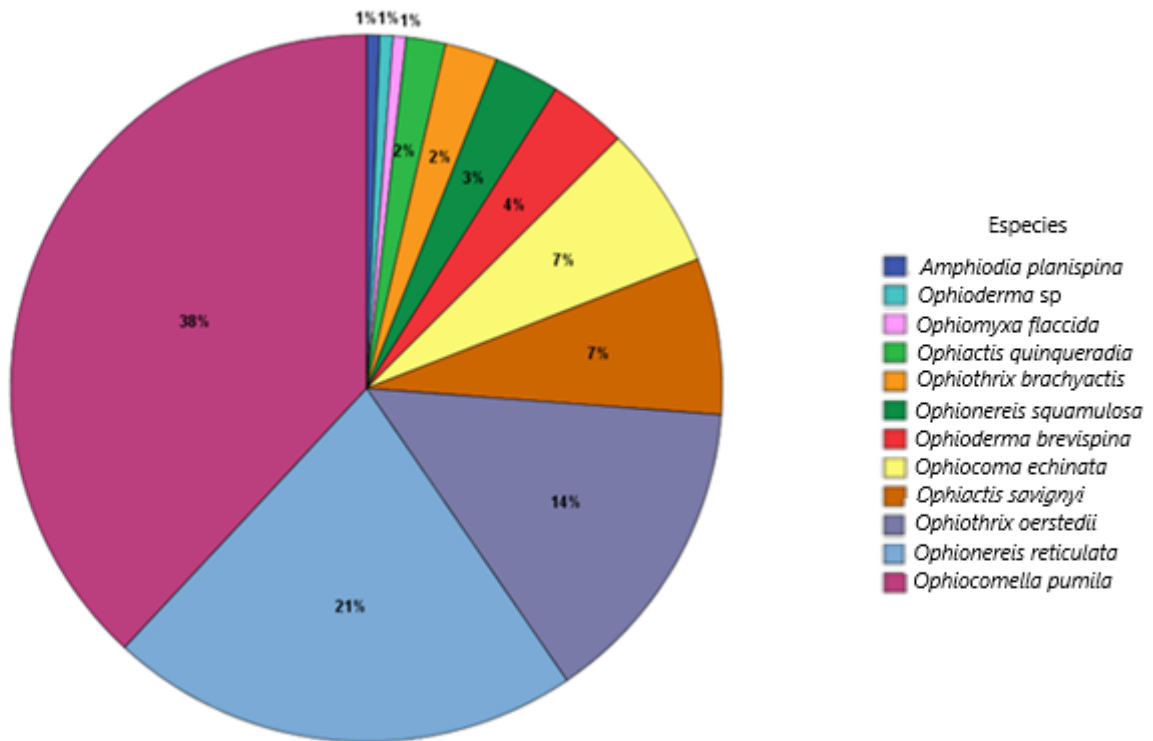
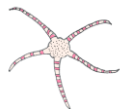


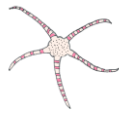
Figura 18. Abundancia relativa de las especies de ofiuroideos encontrados en el arrecife de Akumal, Quintana Roo, México.



**Los ofiuroides (Echinodermata) de Akumal, Quintana Roo, México: efecto del grado de perturbación antropogénica sobre la diversidad**

Tabla 3. Abundancia de especies de ofiuroides por mes y año de colecta en cada localidad del arrecife de Akumal, Quintana Roo, México. BA= Bahía de Akumal, LY= Laguna Yal-ku y BML= Bahía de la Media Luna.

Localidad/ mes y año de colecta	octubre 2014			enero 2015			abril 2015			julio 2015			octubre 2015		
	BA	LY	BML	BA	LY	BML	BA	LY	BML	BA	LY	BML	BA	LY	BML
<i>Ophioderma brevispina</i>	1	1								1	1	2			
<i>Ophioderma</i> sp.													1		
<i>Ophiomyxa flaccida</i>	1														
<i>Amphiodia planispina</i>							1								
<i>Ophiocoma echinata</i>			1	1	2		1	1		1		2		1	2
<i>Ophiocomella pumila</i>	11	10	1	1			6	1	5	6	1	2	12	4	4
<i>Ophionereis reticulata</i>	2	2	3				2	9	9	1	1		4		2
<i>Ophionereis squamulosa</i>			2										3		
<i>Ophiactis quinqueradiala</i>	1	1							1						
<i>Ophiactis savignyi</i>				3						1	5			1	2
<i>Ophiothrix brachyactis</i>						1						2			1
<i>Ophiothrix oerstedii</i>		5				1	2	1	4	4	1	1	1	4	



Se obtuvo en los meses de abril y octubre 2015 el mismo número organismos (26% de la abundancia total cada uno), en el mes de octubre 2014 la abundancia fue similar a los meses anteriores (25%) y estas abundancias fueron mayores con respecto a los otros meses de muestreo. En el mes de julio de 2015 se obtuvo el 18% de los organismos y en el mes de enero del 2015 el 5% de los organismos, representando el valor más bajo de abundancia. En la figura 19A se observa el número de organismos en los cuatro meses de colecta en el arrecife de Akumal.

La localidad con la mayor abundancia de individuos fue Bahía de Akumal, la zona perturbada, con el 41% de la abundancia, seguido por Laguna Yal-ku (zona intermedia) con el 30% de la abundancia, mientras que, Bahía de la Media Luna (zona no perturbada) fue la localidad con menor abundancia, con el 29% de la abundancia total. En la figura 19B se observa el número de organismos en las localidades Bahía de Akumal, Laguna Yal-ku y Bahía de la Media Luna.

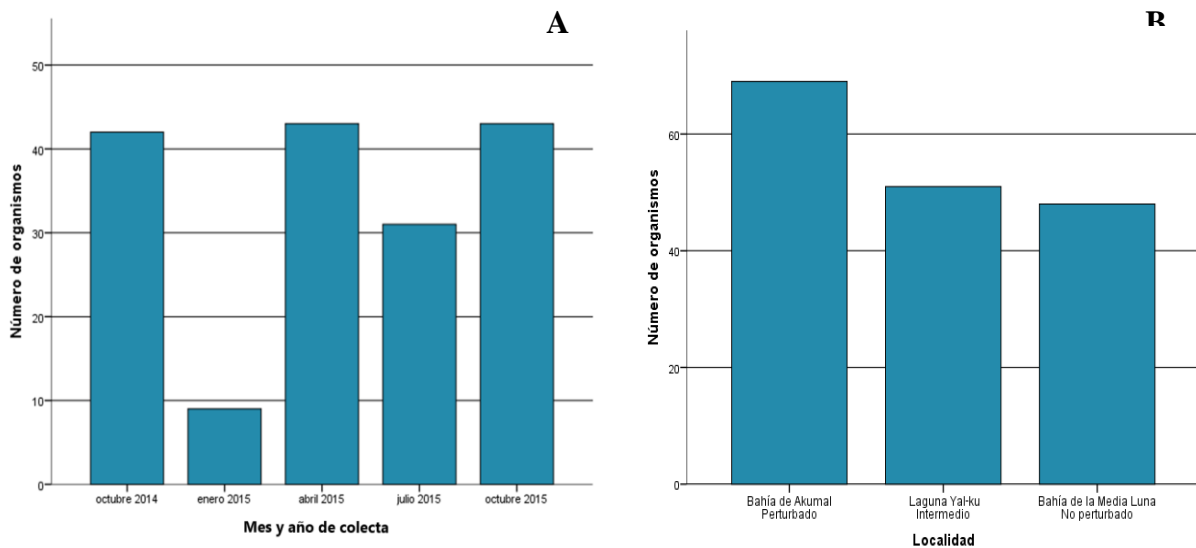


Figura 19. Número de organismos en el arrecife de Akumal, Quintana Roo, México. A) Por mes de colecta y B) Por localidad.



*Riqueza específica*

En octubre de 2015 se obtuvo el mayor número de especies (nueve), seguido por octubre de 2014 con ocho especies y julio de 2015 con siete especies. Los meses que presentaron menor riqueza específica fueron enero y abril de 2015 con seis especies cada uno (figura 20A).

La Bahía de Akumal y la Bahía de la Media Luna presentaron los valores más altos de riqueza con nueve especies y ocho especies respectivamente y Laguna de Yal-ku presentó el valor más bajo con siete especies (figura 20B).

En cuanto a la relación existente entre la riqueza y la abundancia de los ofiuroides con respecto a la distribución geográfica de las tres localidades, la riqueza decreció de la Bahía de Akumal hacia la Bahía de la Media Luna y posteriormente hacia la Laguna Yal-ku, siguiendo un patrón de sur a norte con respecto a la distribución geográfica. La abundancia tuvo un comportamiento diferente, decreció de la Bahía de Akumal hacia la Laguna Yal-ku y posteriormente hacia la Bahía de la Media Luna (figura 21).

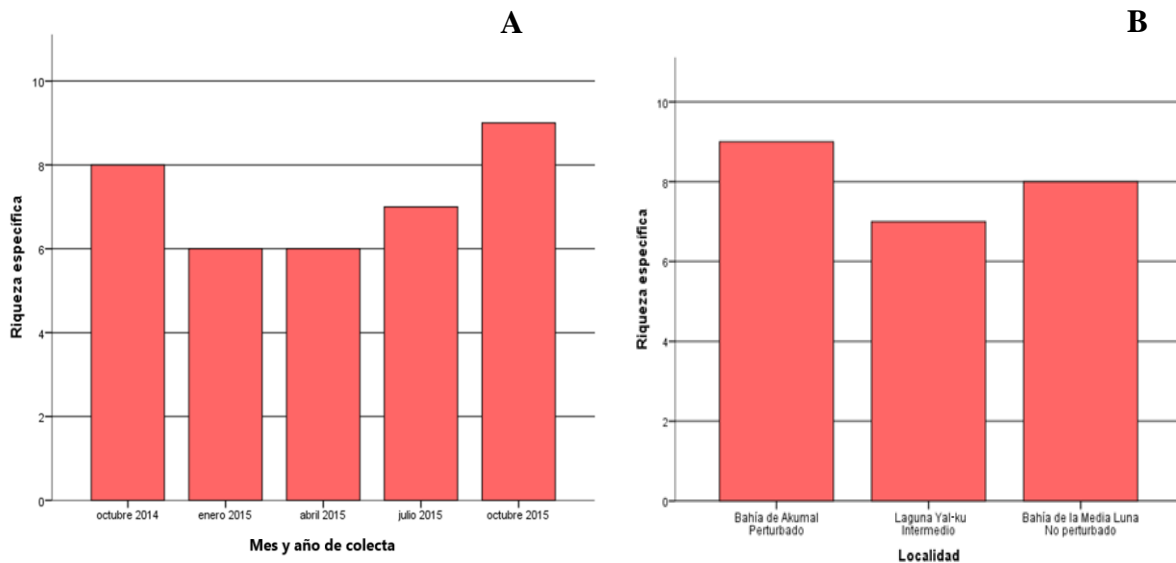
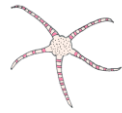


Figura 20. Riqueza específica en el arrecife de Akumal, Quintana Roo, México.

A) Por mes de colecta y B) Por localidad.



Los ofiuroides (Echinodermata) de Akumal, Quintana Roo, México: efecto del grado de perturbación antropogénica sobre la diversidad

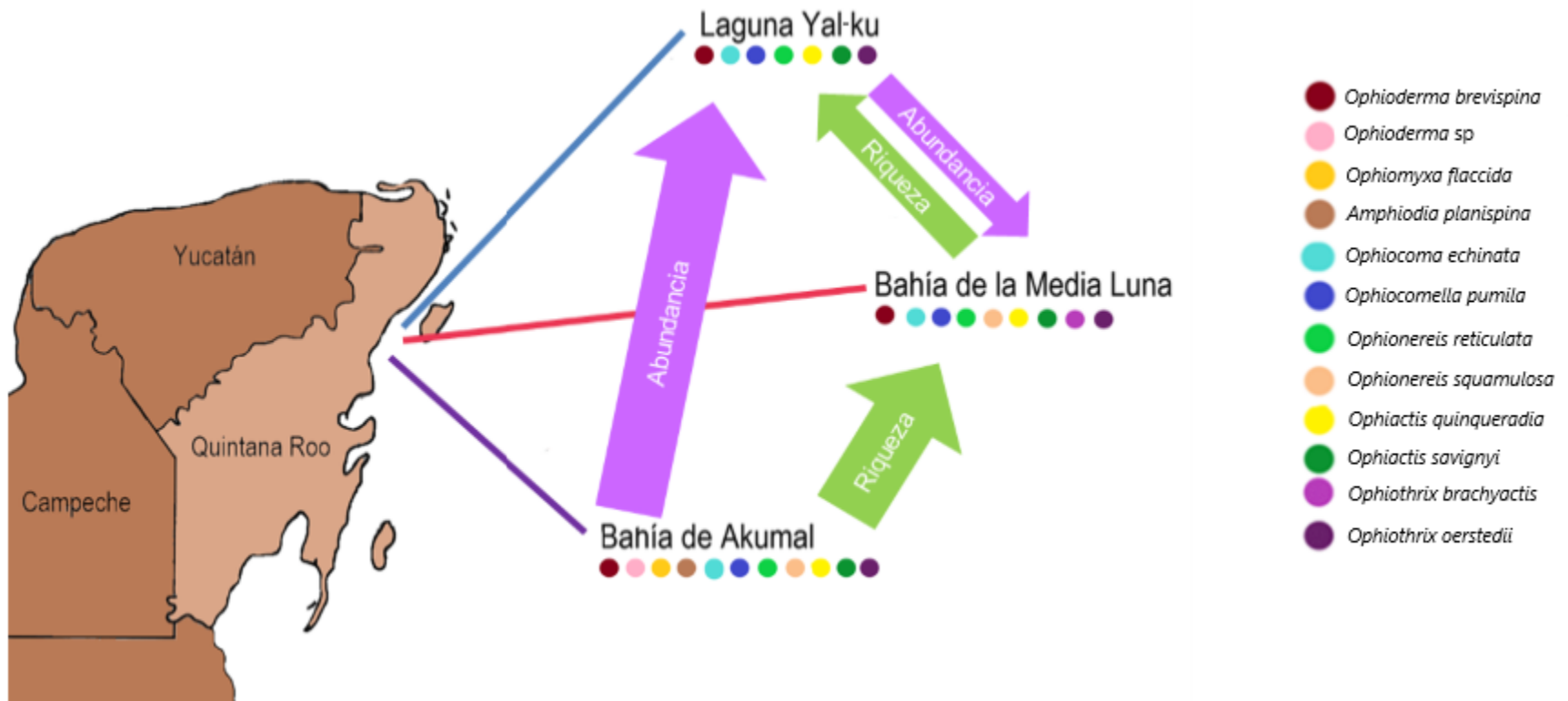
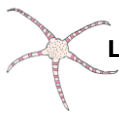


Figura 21. Relación entre la riqueza y abundancia de ofiuroides en las localidades del arrecife de Akumal, Quintana Roo, México. El grosor y la dirección de las flechas representan la disminución de la abundancia.





Porcentaje de aparición

Solo cuatro especies se presentaron en más del 50% de los muestreos: *Ophiocomella pumila* se encontró en 12 de los 15 muestreos, representando el 80% de la frecuencia de aparición, *Ophionereis reticulata* y *Ophiothrix oerstedii* se encontraron en 10 muestreos representando el 67% y *Ophiocoma echinata* que se encontró en ocho muestreos, por lo que representa el 53% de la frecuencia de aparición. Las especies *Ophiactys savignyi* y *Ophioderma brevispina* se encontraron en cinco muestreos por lo que representan el 33%, *Ophiothrix brachyactis* y *Ophiactis quinqueradia* se encontraron en tres muestreos representando el 20% y *Ophionereis squamulosa* en dos, con el 13%. Mientras que *Ophiomyxa flaccida*, *Ophioderma* sp. y *Amphiodia planispina* solo se encontraron en un muestreo representando cada una el 7%. En la figura 22 se observan las frecuencias de aparición de las especies de ofiuroides de acuerdo al mes y año de muestreo en las localidades de Bahía de Akumal (zona perturbada), Laguna Yal-ku (zona intermedia) y Bahía de la Media Luna (zona no perturbada).

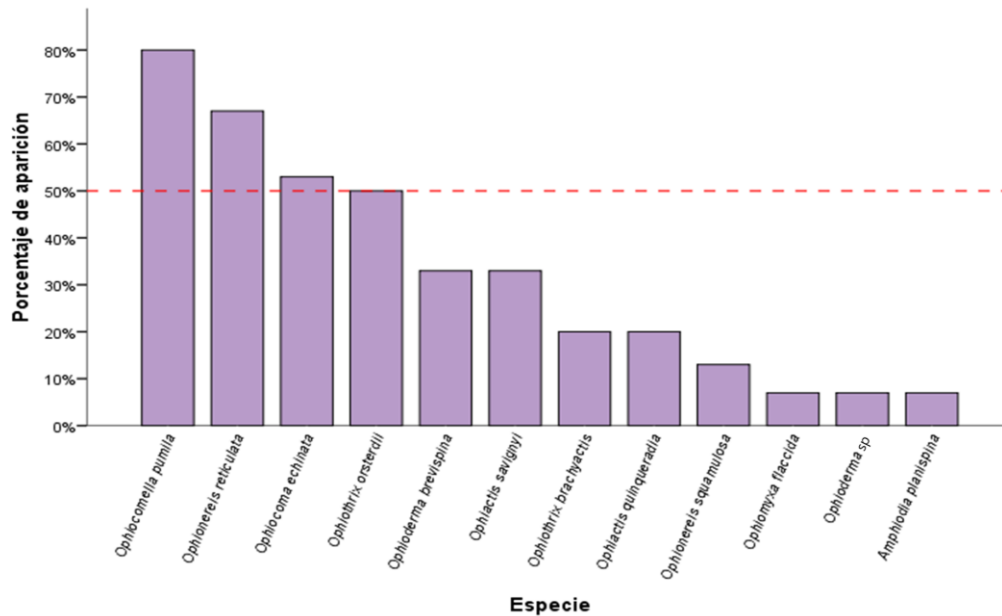
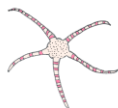


Figura 22. Porcentaje de aparición de cada especie en el arrecife de Akumal, Quintana Roo, México.



Índice de asociación de Olmstead-Tukey

Según el índice de asociación Olmstead-Tukey las especies dominantes fueron tres (25%): *Ophiocomella pumila*, *Ophionereis reticulata* y *Ophiothrix oerstedii*. Las especies raras fueron ocho (67%): *Ophiomyxa flaccida*, *Ophioderma brevispina*, *Ophioderma* sp., *Amphiodia planispina*, *Ophionereis squamulosa*, *Ophiactis savignyi*, *Ophiactis quinqueradía* y *Ophiothrix brachyactis*. Solo hubo una especie ocasional (8%): *Ophiocoma echinata* y no se encontraron especies comunes (figura 23).

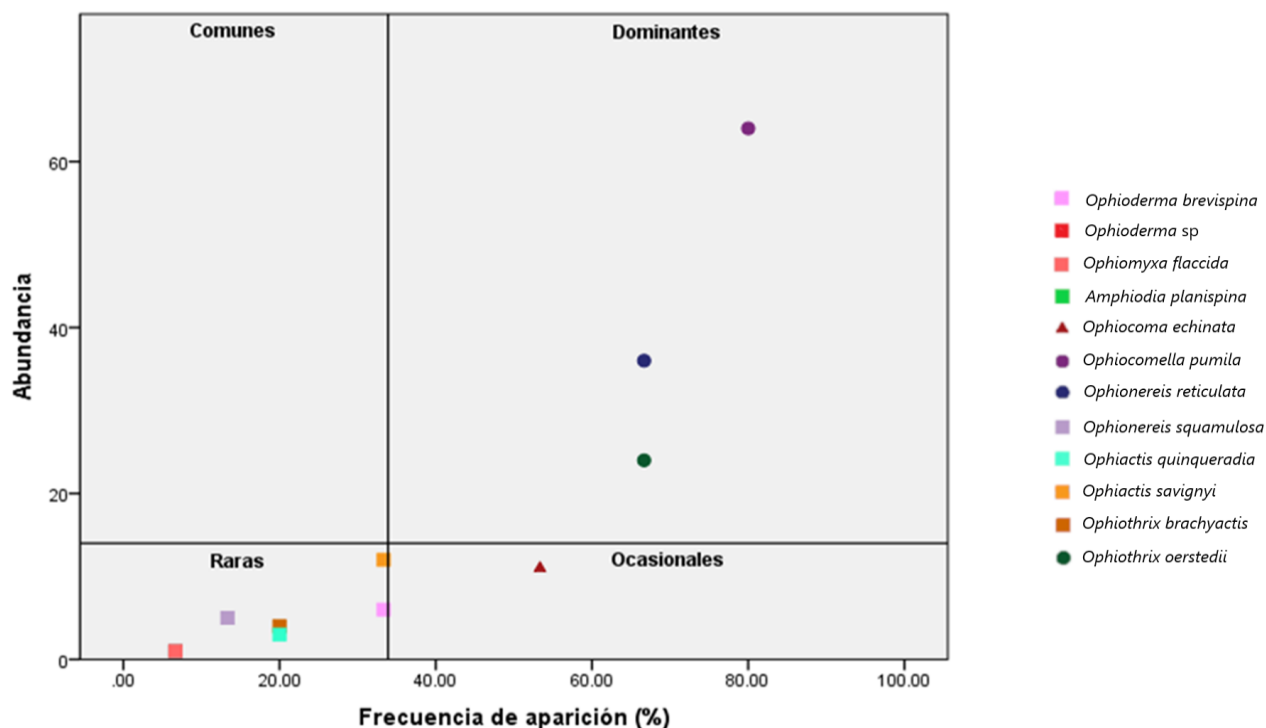
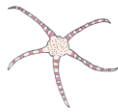


Figura 23. Catalogación de las especies de ofiuroides del arrecife de Akumal, Quintana Roo, México de acuerdo al índice de asociación de Olmstead-Tukey.



*Análisis de comunidades: Diversidad, equitatividad y dominancia*

La localidad Bahía de la Media Luna presentó el valor de diversidad más alto ( $H' = 1.89$ ), seguido por todo el arrecife ( $H' = 1.82$ ). Las localidades Laguna Yal-ku y Bahía de Akumal presentaron el valor más bajo de diversidad ( $H' = 1.64$ ). Los valores del índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) en cada una de las localidades y en todo el arrecife en conjunto se observan en la figura 24A.

De acuerdo a la prueba t de Hutcheson, la diversidad entre las tres localidades no presentó diferencias significativas: Bahía de la Media Luna-Laguna Yal-ku ( $t_c = 1.68$ ,  $t_t = 1.98$ ,  $p > 0.05$  y  $gl = 94$ ), Bahía de la Media Luna-Bahía de Akumal ( $t_c = 1.36$ ,  $t_t = 1.98$ ,  $p > 0.05$  y  $gl = 117$ ) y Laguna Yal-ku-Bahía de Akumal ( $t_c = 0.02$ ,  $t_t = 1.98$ ,  $p > 0.05$  y  $gl = 113$ ).

Se obtuvo que las localidades Bahía de la Media Luna y Laguna Yal-ku presentaron valores de equitatividad más altos ( $J' = 0.60$  y  $J' = 0.58$  respectivamente), por lo que la distribución de las abundancias relativas de las especies es más homogénea; Bahía de Akumal presentó un valor de ( $J' = 0.47$ ) y el arrecife en su totalidad presentó una equitatividad de ( $J' = 0.51$ ). En la figura 24B se observa el índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) para las tres localidades y para todo el arrecife.

La localidad Bahía de Akumal presentó la mayor dominancia ( $D = 0.31$ ), seguida por Laguna Yal-ku ( $D = 0.22$ ) y Bahía de la Media Luna ( $D = 0.19$ ); el arrecife completo presentó una dominancia de ( $D = 0.22$ ). En la figura 24C se muestra el índice de dominancia de Simpson ( $D'$ ) para las tres localidades y para todo el arrecife.

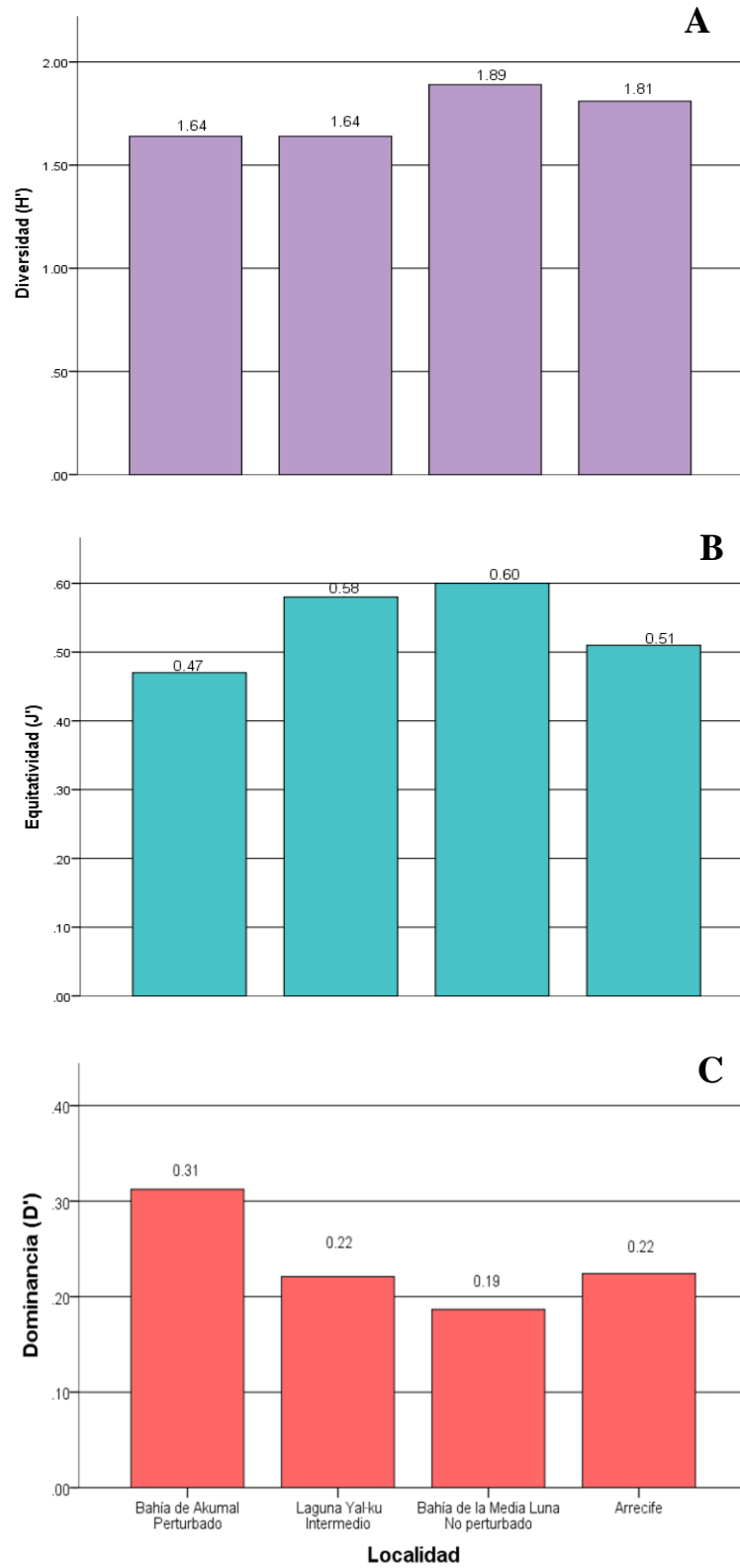
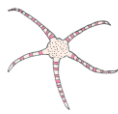


Figura 24. Índices calculados para el arrecife de Akumal, Quintana Roo, México. A) Índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ), B) Índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ) y C) Índice de dominancia de Simpson ( $D'$ ).



*Índice de similitud de Sørensen*

Las localidades que presentaron la mayor similitud en cuanto a composición de especies fueron Bahía de la Media Luna y Laguna Yal-ku ( $S=0.87$ ), seguida por Bahía de la Media Luna y Bahía de Akumal ( $S=0.80$ ). Las localidades con la menor similitud fueron Bahía de Akumal con Laguna Yal-ku ( $S=0.77$ ) (figura 25).

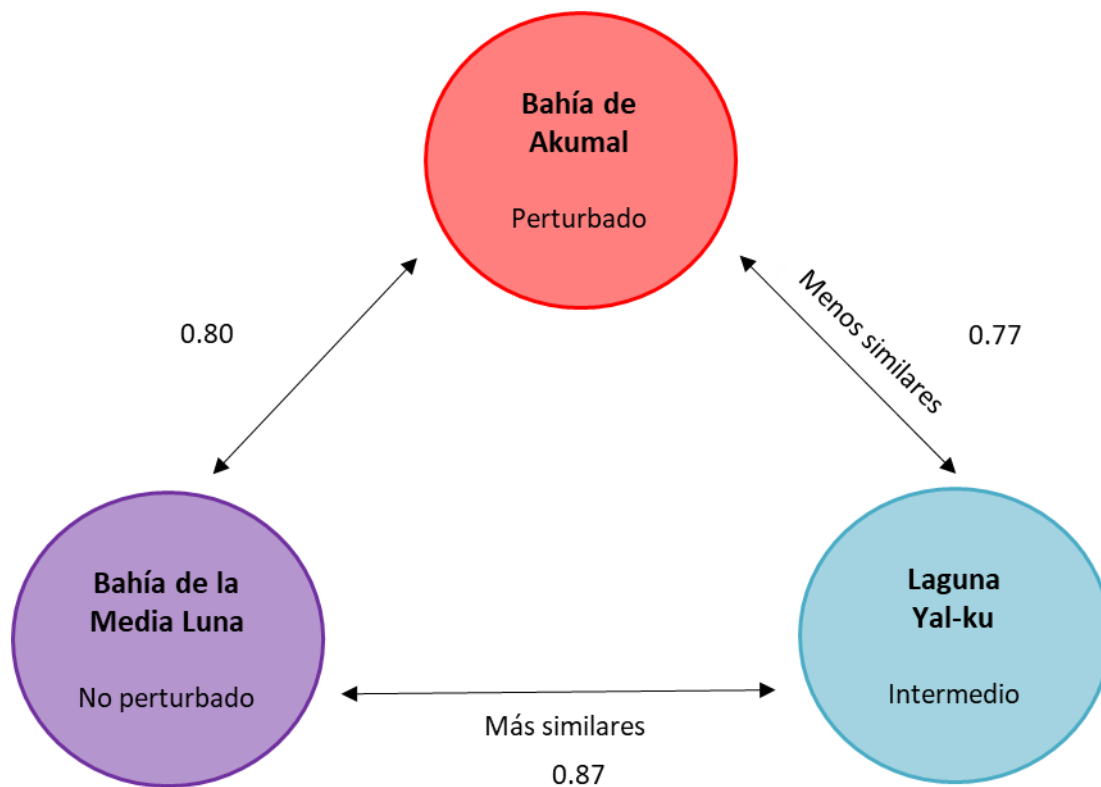
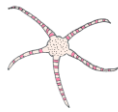


Figura 25. Índice de similitud de Sørensen entre las tres localidades del arrecife de Akumal, Quintana Roo, México.

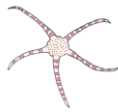


## DISCUSIÓN

En este estudio se identificaron 12 especies de ofiuroides en tres localidades. El grado de perturbación asignado no estuvo relacionado con la diversidad, debido a que este parámetro no fue significativamente diferente en ninguna localidad.

En cuanto a la distribución de las especies en el Golfo de México y mar Caribe, se ha documentado que *Ophionereis reticulata* tiene una amplia distribución desde Carolina del Sur hasta Brasil, distribuyéndose en una gran diversidad de hábitats y con profundidades de hasta 221 m (Hendler *et al.*, 1995). Los ofiuroides *Ophiocoma echinata*, *Ophiocomella pumila*, *Ophiothrix oerstedii* y *Ophiactis quinqueradia* también poseen una amplia distribución, pero probablemente no se encuentren en el arrecife Perla del Golfo en Veracruz debido a la baja complejidad estructural que presenta el mismo (García, 2018), que podría estar limitando el establecimiento de estas especies. *Ophiocomella pumila* y *Ophiothrix oerstedii* no se han registrado en la laguna arrecifal Isla Verde (Bribiesca, 2010) pero si han sido reportadas para otras localidades del PNSAV (Solís-Marín *et al.*, 2007). Las especies *Ophioderma brevispina*, *Ophiomyxa flaccida* y *Ophionereis squamulosa* solo se han reportado en el mar Caribe. Sin embargo, si han sido registradas en Veracruz y Campeche (Laguada-Figueras *et al.*, 2009). Las especies que no fueron registradas en Mahahual y Xcacel por Huerta (2010) son *Ophiactis quinqueradia* y *O. savignyi*, su ausencia puede deberse al método de muestreo empleado, pues solo colectó los organismos asociados al sustrato arenoso-rocoso, hábitat que no es común para estas especies.

*Ophiothrix brachyactis* fue reportado por primera vez en México por Laguada-Figueras *et al.* (2004) en el arrecife de Puerto Morelos en Quintana Roo. En el presente trabajo se reporta para el arrecife de Akumal en el mismo estado. Esta especie se encontró únicamente en la localidad Bahía de la Media Luna, esto puede deberse a la baja perturbación que presenta el sitio.

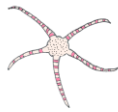


Por otra parte, se ha demostrado que la distribución de *Amphiodia planispina* abarca desde Florida hasta Argentina (Pawson *et al.*, 2009; Benavides *et al.*, 2011). Sin embargo, no había sido reportada en el Golfo de México ni para el mar Caribe mexicano (Solís-Marín *et al.*, 2013) por lo que se presenta el primer registro para el país en este trabajo.

En cuanto a la diferencia en la composición de ofiuroides entre el Golfo de México y la zona del mar Caribe, debido a que la zona del Golfo posee mayor descarga de ríos superficiales y con ello mayor entrada de nutrientes (de la Lanza *et al.*, 2012) y de sedimentos terrígenos (Carranza-Edwards *et al.*, 2015), ambas características propician que el agua sea más turbia, disminuyendo el crecimiento de los arrecifes de coral y la fauna asociada a ellos, comparado con el mar Caribe que tiene menor aporte de ríos superficiales y mayor aporte de ríos subterráneos (de la Lanza *et al.*, 2012). Además, la península de Yucatán tiene una estructura geológica cárstica que provoca que los sedimentos contengan mayor concentración de carbonatos (de la Lanza *et al.*, 2013; Carranza-Edwards *et al.*, 2015). Estas características favorecen el crecimiento de los arrecifes de coral, debido a la presencia de aguas más claras.

#### *Abundancia*

En octubre de ambos años (2014, 2015) se obtuvo una alta abundancia de organismos. En la región en este mes ocurre el final de la temporada de lluvias, que acarrearán el aporte de materia orgánica, misma que es utilizada en la alimentación de los ofiuroides. En este mes también se registró una alta abundancia de la especie *Ophiocomella pumila*. Estos resultados coinciden con los datos de Mladenov (1985), quien estudió el desarrollo y metamorfosis de esta especie y encontró que presenta una existencia pelágica más extendida que otras especies, esto podría explicarse por qué hay más organismos de esta especie en ese mes, debido a que tienen un desfase en su ciclo de vida con respecto a otras especies. Por otro lado, Bejarano *et al.* (2004), encontraron que *O. pumila* es un



componente destacable de la fauna que habita entre cascajo coralino, bajo lajas y rocas coralinas, encontrándose siempre en las amplias galerías de los escombros del coral *Porites porites*.

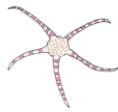
En abril de 2015, a inicios de la temporada de secas, se observó un aumento en la abundancia. Esto se debe al inicio de la sucesión y de la colonización de los nichos que quedaron disponibles después de las precipitaciones constantes que ocurrieron durante la temporada de suradas (noviembre-febrero).

La localidad Bahía de Akumal presentó mayor abundancia de ofiuroides con respecto a las otras localidades. Este dato resalta porque esta localidad es la categorizada como perturbada en este estudio. En ambientes perturbados los ofiuroides pueden aprovechar la materia orgánica que se encuentra disponible en el sustrato o verse beneficiados por la mortalidad de otros organismos. Botello *et al.* (2005), sugirieron que la mayor concentración de bacterias se encuentra en el sedimento debido a que éste representa un sustrato al que se pueden adherir los microorganismos, por lo que los ofiuroides pueden estarse alimentando de estas bacterias. Además, la muerte de las colonias de coral y la formación de bancos de escombros de coral dejan disponibles nichos críticos que son ideales para que los ofiuroides se escondan.

#### *Riqueza específica*

Los meses de octubre (temporada de lluvias) en ambos años presentaron mayor riqueza específica, al realizar el muestreo al final de esta temporada algunas especies que se encontraban en el arrecife probablemente fueron desplazadas hacia estos bancos de escombros de coral, lo que puede explicar que se encontraran más especies en esos meses.

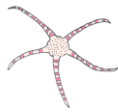




La localidad perturbada Bahía de Akumal también sobresalió con respecto a las otras localidades en cuanto a riqueza específica, ya que nueve de las 10 especies reportadas se encontraron aquí, por lo que es posible que la perturbación antropogénica no sea un factor limitante para el establecimiento de las especies de ofiuroides.

De acuerdo a González-Gándara *et al.* (2015) la heterogeneidad ambiental tiene influencia en la riqueza de los equinodermos. Este hecho podría ser el causante del contraste en los valores de riqueza específica de las tres localidades, pues las diferencias en los rasgos geomorfológicos que presentan las tres formaciones arrecifales pueden reflejarse en el número de hábitats disponibles. Además, el aporte de agua dulce en Laguna Yal-ku (la localidad con menor riqueza), tiene una influencia que se extiende a una longitud aproximada de hasta 800 m desde la costa (Mata, 2012), por lo que es probable que este cambio de salinidad sea un factor desfavorable para el establecimiento de algunas especies de ofiuroides.

Por otra parte, el número de especies de la clase Ophiuroidea registrada en el arrecife de Akumal (12 especies), fue menor que la reportada por Gualito (2018) en el mismo arrecife (25 especies). Esto puede deberse a que, en el presente trabajo, se tomó en cuenta la diversidad en la pedacería de coral, mientras que Gualito (2018) muestreó varios hábitats dentro del arrecife y a varias profundidades (tabla 4). El tipo de arrecife, las características del sustrato y la profundidad influyen en la riqueza y distribución espacial de los equinodermos (González-Gándara *et al.*, 2015), por lo que al realizar una búsqueda de ofiuroides en distintos hábitats del arrecife y no solo en pedacería de coral es muy posible que se encuentre un mayor número de especies, pues esta clase de equinodermos se caracteriza por tener hábitos más diversos que les permiten establecerse en distintos nichos. También suelen ocupar espacios crípticos y suelen enterrarse, sobre todo aquellas especies fotosensibles o que necesitan



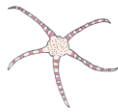
buscar protección debido a la vulnerabilidad que tienen a la depredación (Bejarano *et al.*, 2004).

Tabla 4. Comparación de la diversidad de ofiuroides en el arrecife de Akumal.

	Gualito, 2018	Presente trabajo
Clases del phylum	4	1
Número de especies de ofiuroides	25	12
	17 para Akumal	2 para Akumal
Nuevos registros	1 para el Caribe mexicano	1 para México
Localidades	8	3
Número de muestreos	2	5
Datos de la colección de equinodermos	Incluidos	No incluidos
Técnica de muestreos	Snorkel y SCUBA	SCUBA
Hábitats	Todos los hábitats posibles	Pedacería de coral
Profundidad	0.5-12m	4 m

#### Porcentaje de aparición

Las especies que se registraron en más de la mitad de los muestreos fueron *Ophiocomella pumila* (80%), *Ophionereis reticulata* (67%), *Ophiothrix ostedii* (67%) y *Ophiocoma echinata* (53%). Estas especies tienen una amplia distribución en el mar Caribe y en aguas someras (Hendler *et al.*, 1955; Bejarano *et al.*, 2004) por lo que es común encontrarlas en sustratos calcáreos y fondos blandos. Las especies que menos se encontraron en los muestreos fueron *Ophiactys savignyi* (33%), *Ophioderma brevispina* (33%), *Ophiothrix brachyactis* (20%), *Ophionereis squamulosa* (13%), *Ophiactis quinqueradia* (20%), *Ophioderma* sp. (7%), *Amphiodia planispina* (7%) y *Ophiomyxa flaccida* (7%), esto puede deberse a que el tipo de sustrato muestreado no es tan favorable para el establecimiento de estas especies, ya que algunas se encuentran con gran abundancia dentro de esponjas, en pastos marinos, fondos arenosos y lodosos (Hendler *et al.*, 1995; Pawson, 2007).

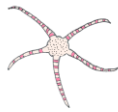


*Índice de asociación Olmstead-Tukey*

Las especies dominantes son aquellas que ocupan mayoritariamente los espacios en los escombros de coral, estas especies fueron: *Ophiocomella pumila*, *Ophionereis reticulata*, *Ophiothrix ostedii*. Estas especies en el Caribe están ampliamente distribuidas y que presentan altas abundancias (Hendler *et al.*, 1995). Entre estas especies dominantes resalta *O. pumila* ya que tiende a desplazar a otras especies competitivamente activas debido a las densidades tan altas que alcanza sobre todo en escombros de coral. Por otra parte, se encuentra ampliamente distribuida por la presencia de una larva que sobrevive un largo periodo de tiempo en el plancton, lo que le permite tener largas distancias de dispersión (Benavides *et al.*, 2011).

Las especies raras son aquellas que presentan bajas abundancias y bajas frecuencias de aparición y fueron: *Ophiomyxa flaccida*, *Ophionereis squamulosa*, *Ophiactis quinqueradia* y *Ophiothrix brachyactis*. La mayoría de estas especies presentan hábitos que son diferentes a los del sustrato muestreado, *O. flaccida* es frecuente en algas o en grietas de coral, *O. squamulosa* es más abundante en algas, *O. quinqueradia* está asociada a esponjas de las que es endocomensal y *O. brachyactis* se encuentra asociada a arrecifes de coral con algas coralinas (Hendler *et al.*, 1995). El alto número de especies raras se asocia a un ambiente muy cambiante en el que las condiciones ambientales permiten el recambio y establecimiento continuo de las especies.

Por otra parte, la única especie ocasional fue *Ophiocoma echinata*. Se ha reportado que esta especie tiene una alta tolerancia al estrés ambiental, presenta grandes abundancias y se ha observado que solo sufre disminuciones mínimas en su abundancia después de un clima severo (Hendler *et al.*, 1955). Debido a su tolerancia, es que ésta especie se encontró constantemente en los muestreos.



*Análisis de comunidades: Diversidad, equitatividad y dominancia*

La zona del Caribe (que incluye al arrecife de Akumal y el de Puerto Morelos) es relativamente más diversa en ofiuroides que la zona del Golfo de México (incluye al arrecife Perla del Golfo) debido a que en ésta zona se encuentra el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) con una extensión de aproximadamente 1,000 km (Ardison *et al.*, 2011). Este arrecife de barrera ocupa el segundo lugar en longitud del mundo (World Wildlife Fund). En contraste, en el Golfo de México, la zona arrecifal más grande es el PNSAV, que cuenta con 27 arrecifes de coral separados geográficamente (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2017). Por su extensión, el Caribe ofrece una mayor diversidad de hábitats y de nichos ecológicos para el establecimiento de estos organismos y es por ello, que se observó una mayor diversidad de ofiuroides. Sin embargo, que el arrecife de Akumal sea menos diverso que el de Puerto Morelos se debe a la presencia de especies con abundancias relativas altas (dominancia de algunas especies) que causan que disminuya la diversidad del sistema.

Se determinó mediante la prueba t de Hutcheson que la diversidad en las tres localidades no fue significativamente diferente (Hutcheson, 1970), esto se debe a que la composición de especies fue similar, ya que, de las 12 especies presentes, siete se distribuyen en las tres localidades. Por otra parte, los valores de equitatividad y de dominancia se vieron afectados por la presencia de especies abundantes como *Ophiocomella pumila* y *Ophionereis reticulata*.

*Índices de similitud de Sørensen*

Las localidades más parecidas según el índice de asociación de Sørensen fueron Bahía de la Media Luna-Laguna Yal-ku, debido a que la mayoría las especies en ambas localidades, se compartieron. Las localidades menos parecidas fueron Bahía de Akumal y Laguna Yal-ku, debido a la diferencia en la composición de especies. El resultado de éste índice concuerda con la distribución geográfica de los sitios de muestreo en el litoral, pues se puede observar un



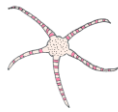
gradiente de distribución ya que las localidades más próximas son las que más se parecen.

Por otra parte, la relación entre los valores de este índice no concuerda con la categorización de perturbación propuesta, pues la localidad más perturbada (Bahía de Akumal) fue más similar a la no perturbada (Bahía de la Media Luna) que a la intermedia (Laguna Yal-ku), esto también podría indicar que el grado de perturbación no influyó en la composición de especies de ofiuroides.

#### *Análisis de diversidad vs. grado de perturbación*

Los arrecifes de coral, desde su aparición hace millones de años, han sido sometidos a perturbaciones naturales, éstos fenómenos han causado efectos sobre las interacciones, la diversidad y la evolución de los ecosistemas. Sin embargo, las perturbaciones antropogénicas han causado mayor daño a estos ecosistemas en solo una fracción de tiempo, los daños más evidentes son la destrucción del hábitat, la presencia de pesticidas, la acumulación de metales pesados, la carga de nutrientes y la carga de sedimentos debido a la escorrentía. Estas perturbaciones en arrecifes costeros causan cambios en las interacciones competitivas, mortalidad directa, fracaso reproductivo y reclutamiento insuficiente de las especies asociadas a los arrecifes. La muerte de los corales afecta de manera crítica a las comunidades, ya que proporcionan un importante enlace trófico, así como la principal estructura del hábitat (Richmond, 1993).

La causa directa de muchas enfermedades del coral es desconocida, aunque hay una variedad de factores que probablemente contribuyen a su brote y propagación, entre ellas el turismo, la escorrentía terrestre y la sobrecarga de nutrientes. Los enterococos, son bacterias comunes que se encuentra en los intestinos de los humanos y se utilizan como indicador de contaminación fecal en las fuentes de agua (Girouard, 2013). La secreción mucosa del coral puede acumular microorganismos entéricos en ambientes de arrecifes y puede indicar un riesgo para la salud pública y ambiental (Lipp *et al.*, 2002). Se sabe que la bacteria



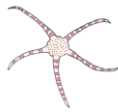
entérica *Serratia marcescens* ha contribuido a pérdidas abruptas en el coral *Acropora palmata*, ya que causa la enfermedad llamada serriatosis de acróporas (APS) (Patterson *et al.*, 2011).

La localidad Bahía de Akumal fue categorizada arbitrariamente como perturbada, a pesar de esto, se encontró un mayor número de especies y de organismos. Gil *et al.* (2015) analizaron la zona de Akumal, observando la disminución de la cobertura de coral, posiblemente aumentando la pedacería de coral. A mayor espacio, la competencia intraespecífica por el recurso espacio disminuye, aumentando así la posibilidad de que más organismos se distribuyan en él. Además de esto la especie *O. pumila* presentó una abundancia alta, debido a que prefiere este tipo de hábitat.

Según Baker *et al.* (2010) en la Laguna de Yal-ku existe un alto nivel de bacterias fecales por la infiltración de aguas residuales a las aguas subterráneas que desembocan en esta Laguna, rechazan que éstas bacterias estén dadas por la presencia de turistas, pues la localidad que presenta mayor presencia de turistas obtuvo una menor concentración de bacterias y los sitios con menor influencia de turistas obtuvieron valores más altos de UFC por mL, por lo que propusieron que las residencias son fuentes probables de esta contaminación, ya que casi el 20% de las viviendas en la región no están conectadas a ningún sistema de alcantarillado.

#### *Recomendaciones*

Si se tuviera que elegir conservar alguna de las localidades sería Bahía de la Media Luna porque a pesar de que posee un menor grado de perturbación, tiene mayor diversidad de especies debido a la baja dominancia y alta equitatividad de la comunidad. No hay tantas especies como en Bahía de Akumal pero las especies presentes tienen abundancias distribuidas en proporciones similares. Bahía de Akumal tiene más especies, pero la dominancia de una



especie es muy alta, por lo que conservar este sitio no contribuiría a mantener la mayor parte de la composición de ofiuroides.

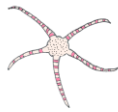
Como plan de manejo para Akumal sería prudente proponer evaluar la capacidad de carga turística para evitar el turismo irresponsable pues indican el número de turistas que un arrecife de coral puede soportar sin que sus recursos naturales se deterioren (Cederstav *et al.*, 2014). Además, deberían establecerse reglas sanitarias para poder ingresar al arrecife, la principal sería un enjuague con agua dulce para tratar de limpiar el cuerpo de cualquier contaminante que pueda ser introducido por los turistas al arrecife, tales como componentes de cremas corporales y solares. También es necesario el manejo adecuado de aguas residuales para que estas no lleguen directamente al mar.

## CONCLUSIONES

En el Arrecife de Akumal, Quintana Roo, se registraron 12 especies de ofiuroides: *Ophiomyxa flaccida*, *Ophioderma* sp., *Ophioderma brevispina*, *Amphiodia planispina*, *Ophiocoma echinata*, *Ophiocomella pumila*, *Ophionereis reticulata*, *Ophionereis squamulosa*, *Ophiactis quinqueradia*, *Ophiactis savignyi*, *Ophiotrix brachyactis* y *Ophiotrix orsterdii*.

La especie que presentó mayor abundancia fue *Ophiocomella pumila*, y las de menor abundancia fueron *Ophiomyxa flaccida*, *Ophioderma* sp. y *Amphiodia planispina*.

El mes que presentó mayor abundancia fue octubre para ambos años (2014 y 2015), mientras que el mes con menor abundancia de ofiuroides fue enero de 2015. La localidad con mayor abundancia fue Bahía de Akumal, mientras que el que presentó menor número de organismos fue Bahía de la Media Luna.



En octubre de 2015 se encontró la mayor riqueza específica, el mes con menor riqueza específica fue enero del 2015. La localidad con mayor riqueza específica fue Bahía de Akumal.

No existieron diferencias significativas en los valores de diversidad entre las tres localidades.

La localidad donde se observó la diversidad más equitativa fue Bahía de la Media Luna.

La localidad donde se observó mayor dominancia fue Bahía de Akumal.

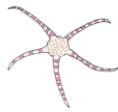
La especie más frecuente fue *Ophiocomella pumila* y las menos frecuentes fueron *Ophiomyxa flaccida*, *Ophioderma* sp. y *Amphiodia planispina*.

Se encontró que el 67% de las especies fueron raras, el 25% dominantes, el 8% ocasional y que no hay especies comunes.

Las localidades más similares en cuanto a la composición de especies fueron Bahía de la Media Luna y Laguna Yal-ku y las menos similares fueron Laguna Yal-ku y Bahía de Akumal.

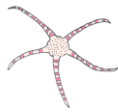
La localidad Bahía de Akumal categorizada como perturbada fue la de mayor riqueza específica y la de menor riqueza específica fue la categorizada con perturbación intermedia.



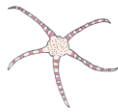


## LITERATURA CITADA

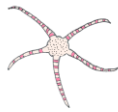
- Alvarado, A. 2010. Cambio de sexo en algunas especies animales. *Revista Digital Universitaria*, **8**: 3-7.
- Alvarez-Hernández J. 2003. Trophic Model of a Fringing Coral Reef in the Southern Mexican Caribbean. *In: From Mexico to Brazil: Central Atlantic fisheries catch trends and ecosystem models*, D. Zeller, S. Booth, E. Mohammed y D. Pauly (eds.). The Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada. pp 227-235.
- Anderson, D. T. 1998. Invertebrates. Oxford University Press, Australia. pp 367-397.
- Ardison, P. L., M. A. May-Kú, M. T. Herrera-Dorantes y A. Arellano-Guillermo. 2011. El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. *Hidrobiológica*, **21**: 261-280.
- Baker, D. M., E. Jordán-Dahlgren, M. A. Maldonado y C. D. Harvell. 2010. Sea fan corals provide a stable isotope baseline for assessing sewage pollution in the Mexican Caribbean. *Limnology and Oceanography*, **55**: 2139-2149.
- Benavides, M., G. H. Borrero y C. M. Diaz. 2011. Equinodermos del Caribe colombiano I: Crinoidea, Asteroidea y Ophiuroidea. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar 22, Santa Marta, Colombia. pp 384.
- Bejarano, S., S. Zea y J. M. Díaz. 2004. Esponjas y otros microhábitats de ofiuroides (Ophiuroidea: Echinodermata) en ambientes arrecifales del Archipiélago de San Bernardo (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, **33**: 29-47.



- Begon M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 1988. Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades. Omega, Barcelona, España. pp 886.
- Borges, J. 2003. Estructura y composición de la comunidad bentónica de los arrecifes de Quintana Roo, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Departamento de Pesquería y Biología Marina, Instituto Politécnico Nacional. 120 pp.
- Botello, A. V., R.V. Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández. 2005. Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental. Diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. 696 pp.
- Bribiesca, G. 2010. Biodiversidad de ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) del arrecife Isla Verde y análisis de registros históricos para el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 154 pp.
- Brusca, R. C y G. J. Brusca. 2003. Invertebrates. Sinauer Association Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, pp 801-837.
- Carranza-Edwards A., A. Z. Márquez-García, C. I. Tapia-Gonzalez, L. Rosales-Hoz y M. A. Alatorre-Mendieta. 2015. Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe noroeste. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, **67**: 21-43.
- Caso, M. E. 1969. Estado actual de los conocimientos acerca de los equinodermos de México. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 389 pp.



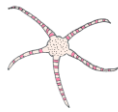
- Caso, M. E. 1978. Ciencia y técnica de los equinodermos en relación con el hombre. Aspecto científico. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, **5**:255-268.
- Caso, M. E. 1979. Los equinodermos (Asteroidea, Ophiuroidea y Echinoidea de la Laguna de Términos, Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, (3): 1-186.
- Caso, M. E. 1985. Descripción de una nueva especie de ofiuroido de la bahía de Mazatlán, Sin. *Ophioderma sodipallaresi* sp. nov. y comparación con *Ophioderma variegatum* Lütken. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, **13**: 223-248.
- Cázares, A. 2010. Ofiuros (Echinodermata: Ophiurida) del intermareal rocoso, Zona Norte de Bahía de Banderas, Nayarit, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 112 pp.
- Cederstav, A., J. Lawrence y V. Quintanilla. 2014. La Protección de los Arrecifes de Coral en México: Rescatando la biodiversidad marina y sus beneficios para la humanidad. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente. 39 pp.
- Dahm, C. 1999. Ophiuroids (Echinodermata) of southern Chile and the Antarctic: Taxonomy, biomass, diet and growth of dominant species. *In*: Magellan-Antarctic: Ecosystems that drifted apart, W. E Amtz and C. Rios (eds.). *Scientia Marina*, **63** (supl. 1):427-432.
- De la Lanza G., M. A. Ortiz y J. L. Carbajal. 2013. Diferencias hidrogeomorfológicas de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geográficas*, **81**: 33-50.



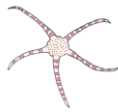
- Devaney, D. M. 1974. Shallow-water echinoderms from British Honduras, with a description of a new species of *Ophiocoma* (Ophiuroidea). *Bulletin of Marine Science*, **24**: 123-164.
- Díaz-Ruiz, S. 2002. Informe final del sistema arrecifal coralino de Akumal, Caribe Mexicano. Segunda etapa (LIEC/CBS/UAM-I, 2001, 2002). Reporte Técnico. Universidad Autónoma Metropolitana, México. 178 pp.
- Fell, H. B. 1975. Introduction to Marine Biology. Bulletin of the Museum of the Comparative Zoology at Harvard College. 203 pp.
- García, A. 2018. Comparación de la diversidad y complejidad estructural de dos arrecifes de coral: La Perla del Golfo, Veracruz y Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 84 pp.
- Garza-Pérez, J. 1999. Análisis comparativo de cuatro comunidades coralinas arrecifales del Caribe Mexicano. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). 60 pp.
- Garza-Pérez, J. 2004. Información y manejo para la protección de la biodiversidad de la barrera arrecifal de México: Evaluación de variables, modelación espacial del hábitat y SIG. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México. 184 pp.
- Garza-Pérez, J., M. Mata-Lara, S. García-Guzmán y E. Schirp-García. 2010. Reporte de caracterización y evaluación de estado de condición arrecifal: Akumal, Quintana Roo. Programa de Investigación Espacial en ambientes costeros y marinos. Facultad de Ciencias, UNAM. 46 pp.



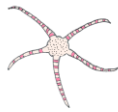
- Gil, M., B. Renfro, B. Figueroa-Zavala, I. Penié y K. H. Dunton. 2015. Rapid tourism growth and declining coral reefs in Akumal, Mexico. *Marine Biology*, **162**: 2225-2233.
- Girouard, S. 2013. Enterococci, a bacterial fecal indicator, and its correlation with coral disease abundance in Bonaire. *Physis: Journal of Marine Science*, **19**: 41-48.
- González-Gándara, C., F. A. Solís-Marín, V. Cruz Francisco, A. Granados-Barba, J. J. Salas-Pérez, J. Argüelles-Jiménez y P. A. Escárcega-Quiroga. 2015. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes de norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, **63**: 183-193.
- González R., I. Sánchez y J. Gamboa. 1999. Modelo numérico del flujo subterráneo de un acuífero Kárstico en Yucatán, México. *In*: Contribución del estudio científico de las cavidades Kársticas al conocimiento geológico. Andreo, B., F. Carrasco y J. Durán (Eds.). Patronato de la cueva de Nerja, Nerja, Malaga, España. 541-550 pp.
- Gualito, A. S. 2018. Equinodermos (Echinodermata) de la Bahía de Akumal, Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 269 pp.
- Hadel, V. F., A. M. Gouviera, D. A. S. Ferreira, T. C. Goncalves y L. R. Tommasi. 1997. Echinodermata. *In*: Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX, 3: invertebrados marinhos, A. E. Migotto y C. G. Tiago (eds.). São Paulo: FAPESP, 310 pp.



- Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson y P. M. Kier. 1995. Sea Stars, sea urchins & Allies: Echinoderms of Florida & the Caribbean. Smithsonian Institution Press, Washington. 390 pp.
- Hendler, G. 1996. Echinodermata collected at Rocas Alijos. *In: Rocas Alijos. Scientific results from the Cordell Expeditions* W. Schmieder (ed.). Monographic Biological, Lower, London, Inglaterra. 319-338 pp.
- Hernández-Herrejón, L. A., F. A. Solís-Marín, y A. Laguarda-Figueras. 2008. Ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) de las aguas mexicanas del golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, **56**: 83-167 pp.
- Hernández-Herrejón, L. A. y F. A. Solís-Marín. 2010. Estudio de caso: Ofiuroides del estado de Campeche. *In: Biodiversidad de Campeche*. Villalobos-Zapata, G. J., y J. Mendoza Vega (Coord.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. 730 pp.
- Holt, E. A. y S. W. Miller. 2010. Bioindicators: using organisms to measure environmental impacts. *Nature Education Knowledge*, **3**(10): 8.
- Huerta, A. G. 2010. Equinodermos observados en las localidades de Mahahual y Xcacel en Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 35 pp.
- Hutcheson, K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon-Wiener formula. *Journal of Theoretical Biology*, **29**(1): 151-154.

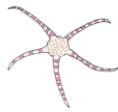


- Janies, D. 2001. Phylogenetic relationships of extant echinoderm classes. *Canadian Journal of Zoology*, **7**:1232-1250.
- Laguarda-Figueras, A., M. Abreu-Peréz, J. Torres-Vega, F. A. Solís-Marín y A. Durán. 2004. Ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) del Caribe Mexicano: Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Avicennia*, **17**: 13-34.
- Laguarda-Figueras, A., L. A. Hernández-Herrejón, F. A. Solís-Marín y A. Durán. 2009. Ofiuroides del Caribe Mexicano y Golfo de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 252 pp.
- Lawrence J. 1987. A functional biology of echinoderms. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. 340 pp.
- López, C. 2017. Diversidad del phylum Echinodermata en el arrecife de coral "Perla del Golfo", Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 74 pp.
- Lipp, E. K., J. L. Jarrell, D. W. Griffin, J. Lukasik, J. Jacukiewicz y J. B. Rose. 2002. Preliminary evidence for human fecal contamination in corals of the Florida Keys, USA. *Marine Pollution Bulletin*, **7**: 666-670.
- Lyman, T. 1865. I. Ophiuridae and Astrophytidae. Illustrated Catalogue of the Museum of Comparative Zoology, Harvard College, **1**: 1-200.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 pp.
- Manson R. H. y E.J. Jardel. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. *In*: Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de

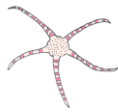


- cambio, R. Dirzo, R. González y I. J. March (comp.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 131-184.
- Mata, M. 2012. Evaluación de estrategias de manejo arrecifal en Akumal, Quintana Roo: Disturbios antropogénicos y enfermedades coralinas. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Yucatán, México. 125 pp.
- Mladenov, P. 1985. Development and metamorphosis of the brittle star *Ophiocoma pumila*: evolutionary and ecological implications. *The Biological Bulletin*, **168**: 285-295.
- Müller, J. y F. H. Troschel. (1840). Über die Gattungen der Ophiuren. *Archiv für Naturgeschichte*, **6**(1): 326-330.
- O'Hara, T. D., S. Stöhr, A. F. Hugall, B. Thuy y A. Martynov. 2018. Morphological diagnoses of higher taxa in Ophiuroidea (Echinodermata) in support of a new classification. *European Journal of Taxonomy*, **416**: 135-152.
- Parada, T. 2016. Equinodermos del Museo Subacuático de Arte (MUSA), Quintana Roo. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 129 pp.
- Patterson, K., S. Shaban, J. L. Joyner, J. W. Porter y E. K. Lipp. 2011. Human pathogen shown to cause disease in the threatened Eklhorn Coral *Acropora palmata*. *PLoS One*, **6**: e23468.
- Pawson, D. L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, **1668**: 749-764.
- Pawson, D. L., D. J. Vance, C. G. Messing, F. A. Solís-Marin y C. L. Mah. 2009. Echinodermata of the Gulf of Mexico. *In*: Gulf of Mexico—Origins, Waters,





- and Biota. Biodiversity. D.L. Felder y D.K. Camp (eds.). Texas A&M Press, College S. pp 1177–1204.
- Pickett, S., R.S. Ostfeld, M. Shachack y G.E. Likens. 1997. The ecological basis of conservation: Heterogeneity, ecosystems and biodiversity. Chapman & Hall, Nueva York. 403 pp.
- Pielou, E. C. 1969. An introduction to Mathematical Ecology. Wiley-Interscience John Wiley y Sons. 285 pp.
- Pomory, C. 2007. Key to the common shallow-water brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Caribbean Journal of Science*, **10**: 1-42.
- Purcell, S. 2010. Diel burying by the tropical sea cucumber *Holothuria scabra*: Effects of environmental stimuli, handling and ontogeny, *Marine Biology*, **157**: 663-671.
- Richmond, R. H. 1993. Coral Reefs: Present problems and future concerns resulting from anthropogenic disturbance. *American Zoologist*, **33**:524-536.
- Sánchez, B. E. 2015. El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana, Veracruz. 40 pp.
- Santana, A. T. y J. J. Castro. 2007. Variaciones en la reproducción y crecimiento de la cabrilla (*Serranus atricauda*) en aguas de Canarias, *Vector Plus*, **29**: 57-67.



Say, T. 1825. On the species of the Linnean genus *Asterias*, inhabiting the coast of the United States. *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, **5**: 141-154.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Sistema Arrecifal Veracruzano y el desarrollo sustentable. 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sistema-arrecifal-veracruzano-y-el-desarrollo-sustentable?idiom=es> Consultado el 10 de Noviembre de 2018.

Shannon, C. E. 1949. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, (27): 379-423.

Sibuet, M. y K. Olu. 1998. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep-Sea Research II*, **45**:517-567.

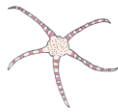
Simpson, A. L. 1969. Equitability Indices: Dependence on the Species Count. *Ecology*, **163**: 688.

Smith T. y R. Smith. 2007. Ecología. Pearson Educación, Madrid. 775 pp.

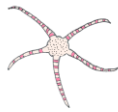
Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1981. Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Blume, Madrid. 829 pp.

Solís-Marín, F. y A. Laguarda-Figuera. 2007. Phylum Echinodermata. *In*: Niveles de organización en animales, M. A. Fernández y G. Rivas (eds.). Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 307-322 pp.

Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figuera y M. A. Gordillo. 2007. Estudio taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *In*: Investigaciones científicas en el Sistema Arrecifal



- Veracruzano, Granados-Barba, A., L. G. Abarca-Arenas y J. M. Vargas Hernández (Eds.). Universidad Autónoma de Campeche. 73-100 pp.
- Solís-Marín, F. A. y A. Laguarda-Figueras. 2010. A new species of starfish (Echinodermata: Asteroidea) from an anchialine cave in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **81**:663-668.
- Solís-Marín, F. A., M. B. I. Honey-Escandón, M. D. Herrero-Perezrul, F. Benitez-Villalobos, J. P. Díaz-Martínez, B. E. Buitrón-Sánchez, J. S. Palleiro-Nayar y A. Durán-González. 2013. The Echinoderms of Mexico: Biodiversity, distribution and current state of knowledge. *In*: Echinoderm Research and Diversity in Latin America, J.J Alvarado y F. A. Solís-Marín (eds.). Springer-Verlag, Berlín. 11-64 pp.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras y M. Honey-Escandón. 2014a. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **85**: S441-S449.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, Vázquez-Bader A. R. y A. Gracia. 2014b. Biodiversidad de los Equinodermos (Echinodermata) del mar profundo mexicano. *In*: La frontera final: El océano profundo, Low, A. y M. Peters (eds.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 287 pp.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, M. B. I. Honey-Escandón, L. López, B. Zúñiga-Arellano, A. A. Caballero, C. A. Conejeros, C. Martín-Cao-Romero, A. Durán-González y M. E. Diupotex. 2018. Equinodermos (Echinodermata) de México: Estado actual del conocimiento de su biodiversidad, biogeografía, estudios bioquímicos y nuevos descubrimientos arqueozoológicos. *Biología y sociedad*, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, **2**: 6-22.



Stöhr, S., T. D. O'Hara y B. Thuy. 2012. Global Diversity of Brittle Stars (Echinodermata: Ophiuroidea). *PLoS ONE*, **7**: 1.

World Wildlife Fund: WWF. Sistema Arrecifal Mesoamericano. Disponible en: [http://www.wwfca.org/especies\\_ylugares/arrecife\\_mesoamericano/](http://www.wwfca.org/especies_ylugares/arrecife_mesoamericano/)

Consultado el 10 de Noviembre de 2018.