



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

---

# ZONACIÓN VERTICAL DE DEMOSPONGIAE EN LA COSTA OESTE DE COZUMEL Y SU FACTIBILIDAD COMO INDICADORES DE CONTAMINACIÓN

---

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**LIC. EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

PRESENTA

**ALUMNO: GREGORIO DE JESUS DE LA CRUZ UC**

DIRECTORA DE TESIS

**DRA. MARTHA ANGÉLICA GUTIÉRREZ AGUIRRE**

ASESORES

**DR. LUIS MANUEL MEJÍA ORTÍZ**

**DR. ADRIÁN CERVANTES MARTÍNEZ**



COZUMEL QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE TESIS  
DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO

PARA OBTENER EL GRADO DE:

## LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS

### NATURALES

COMITÉ DE TESIS

DIRECTORA: DRA. MARTHA A. GUTIÉRREZ AGUIRRE

ASESOR: DR. LUIS MANUEL MEJÍA ORTÍZ

ASESOR: DR. ADRIAN CERVANTES MARTÍNEZ

ASESOR: DRA. JENNIFER DENISSE RUÍZ RAMÍREZ

ASESOR: DR. OSCAR FRAUSTO MARTÍNEZ



## Resumen

El objetivo del presente estudio es describir la zonación vertical de esponjas marinas a través de gradientes de profundidad en algunas costas rocosas del oeste de la isla Cozumel, Quintana Roo, México. El estudio contempló evaluar la cobertura total por especies, así como su factibilidad para ser indicadores a través de un índice de contaminación. Se tomaron en cuenta las costas rocosas como hábitats importantes para el desarrollo de las comunidades de esponjas marinas y su falta de conocimiento que en estas se encuentra sobre el filum. La colecta de datos se efectuó por medio de fototransectos para los análisis de cobertura, a través de buceo autónomo libre y equipo de snorkel sobre cuadrantes de 1 m<sup>2</sup>. La clasificación de especies se realizó por medio del análisis de espículas de muestras permanentes y secuenciación de ADN del gen de la subunidad 1 del citocromo c oxidasa mitocondrial (COI). La cobertura se obtuvo usando el programa CPCe para cada fototrasecto. La diversidad y dominancia se evaluaron por medio de los índices de Shannon y Simpson. Se pretendió llevar a cabo un análisis de discriminación de áreas con posible contaminación, a través de la sumatoria de abundancia y cubrimiento relativos de especies indicadoras de contaminación. Se obtuvo una riqueza de 13 especies, once se identificaron mediante análisis de espículas y se logró la secuenciación del gen COI en cinco especies. A causa de la ausencia de especies indicadoras, se procedió a un análisis de biomonitoreo del filum a través del índice de Shannon, el índice de Simpson, y la cobertura relativa por sitio. Los datos de cobertura revelaron que existen especies de hábitos crípticos dominantes que se encuentran adaptadas a las condiciones ambientales y antrópicas, así como a las propiedades del sustrato. Revelando valores altos en la costa con menor influencia antrópica. Finalmente, la taxonomía integrativa ha sido de apoyo para la identificación de especies que, morfológicamente son iguales, pero genéticamente distintas, mejor conocidas como especies crípticas. Las especies con mayor cobertura presentaron hábitos crípticos y cubrieron las costas rocosas en comparación con las esponjas expuestas. Los índices de Diversidad y Equidad obtuvieron los valores más altos en la costa el Presidente, revelando que la cobertura de las esponjas es mayor en zonas con poca influencia antrópica.

**Palabras clave:** biomonitoreo, cobertura, COI, zonación vertical, hábito críptico.

## **Dedicatoria**

Mi tesis la dedico a mi madre, quien en toda mi formación universitaria estuvo apoyándome, alentándome a no rendirme cuando todo se tornaba difícil y cansado, por confiar en mis capacidades para seguir adelante cuando estuve a punto de ceder y que con su amor me brindaba las fuerzas necesarias que tanto me hacían falta cada día. Siendo mi mayor modelo de superación, humildad y fortaleza, y quien me enseñó a no darme por vencido.

A mis hermanos que no me dejaron solo en los momentos difíciles cuando más necesitaba de ellos y sin pensarlo nunca dudaron en apoyarme para que pudiera llegar hasta el final de mi formación académica.

A mis amigos y amigas que me auxiliaron con sus conocimientos y equipos para cumplir con mis obligaciones académicas, los cuales también me alentaban y me motivaban cada día en clases para seguir adelante.

## **Agradecimiento**

A mi familia que siempre me apoyó, y creyó en mí en todo momento, y no dudaron de mis capacidades para llegar tan lejos, siendo mi principal apoyo económico y emocional a lo largo de todo este trayecto.

A mis profesores por su paciencia y todo el conocimiento brindado, por sus clases tan dinámicas que me ayudaron a comprender mejor el mundo que me rodea, y que sin ellos no hubiera alcanzado mi meta.

A El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) unidad académica Chetumal por sus aportes a mi tesis, ya que con su apoyo se pudo concluir una etapa más de mi vida.

Agradezco a mi directora de tesis por la guía y seguimiento desde el inicio de este proyecto finalmente concluido.

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>2</b>
Palabras clave: biomonitoreo, cobertura, COI, zonación vertical, habito críptico. ....	2
<b>Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>12</b>
Estructura, Diversidad y Observaciones de Esponjas Marinas .....	12
Las Esponjas Marinas Como Bioindicadores .....	15
Identificación de Esponjas Marinas a Partir de Secuencias de ADN.....	19
Estudios Sobre Esponjas Marinas en Quintana Roo .....	21
<b>Justificación .....</b>	<b>22</b>
<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>23</b>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>23</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>23</b>
Objetivo General .....	23
Objetivos Particulares .....	24
<b>Área de Estudio .....</b>	<b>24</b>
Geología .....	26
Edafología .....	26
Hidrogeología.....	27
Climatología.....	28
Corrientes Marinas .....	28
<b>Descripción de Sitios .....</b>	<b>29</b>
El Cozumeleño .....	29
El presidente.....	30
Caletita .....	31
<b>Metodología .....</b>	<b>32</b>
Trabajo de Campo .....	32
Cobertura.....	33
Análisis de diversidad .....	34
Índice de Simpson .....	34

Índice de Shannon y Weaner.....	35
Índice de contaminación. ....	35
Identificación de especies mediante análisis de material biológico. ....	36
Conservación de muestras.....	36
Análisis de espículas .....	37
Extracción de ADN.....	37
Técnica de PCR (Reacción en Cadena de Polimerasa).....	38
<b>Resultados .....</b>	<b>39</b>
Descripción de Especies.....	40
Análisis de ADN .....	54
Biomonitoreo.....	61
Cobertura.....	61
Índice se Simpson y Shannon .....	65
<b>Discusión .....</b>	<b>69</b>
Biomonitoreo de cobertura, diversidad y abundancia de esponjas marinas.....	69
Secuencias de ADN.....	72
<b>Conclusión.....</b>	<b>75</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>76</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Zona de Localización.....	25
<b>Figura 2</b> Costa Rocosa “El Cozumeleño”. ....	30
<b>Figura 3</b> Costa Rocosa “El Presidente”.....	30
<b>Figura 4</b> Costa Rocosa “Caletita”. ....	31
<b>Figura 5</b> Formato de Etiquetado.....	33
<b>Figura 6</b> Índice de Simpson. ....	34
<b>Figura 7</b> Índice de Shannon-Weaner.....	35
<b>Figura 8</b> <i>Chondrilla caribensis</i> (Rützler, Duran & Piantoni, 2007) .....	41

<b>Figura 9</b> <i>Agelas tubulata</i> (Lehnert & van Soest, 1996) .....	42
<b>Figura 10</b> <i>Aiolochoiria crassa</i> (Hyatt, 1875) .....	43
<b>Figura 11</b> <i>Smenospongia aurea</i> (Hyatt, 1875) .....	44
<b>Figura 12</b> <i>Verongula rígida</i> (Esper, 1794) .....	45
<b>Figura 13</b> <i>Verongula reiswigi</i> (Alcolado, 1984) .....	46
<b>Figura 14</b> <i>Ircinia felix</i> (Duchassaing y Michelotti, 1864) .....	47
<b>Figura 15</b> <i>Ircinia strobilina</i> (Lamarck 1816) .....	48
<b>Figura 16</b> <i>Xestospongia muta</i> (Schmidt, 1870) .....	49
<b>Figura 17</b> <i>Niphates digitalis</i> (Lamarck 1814) .....	50
<b>Figura 18</b> <i>Amphimedon queenslandica</i> (Hooper & van Soest, 2006) .....	52
<b>Figura 19</b> Genero <i>Spirastrella</i> .....	53
<b>Figura 20</b> <i>Plakortis angulospiculatus</i> (Carter, 1879) .....	54
<b>Figura 21</b> Foto de gel del corrido de PCR. ....	55
<b>Figura 22</b> Ejemplo de espacio o GAPS. ....	55
<b>Figura 23</b> Diferencia en el Porcentaje de Identidad. ....	58
<b>Figura 24</b> Árbol bayesiano del gen COI en Demospongiae .....	59
<b>Figura 25</b> Índice de Simpson y Shannon .....	65

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Ejemplo de Etiquetado para Envío de Muestras para Análisis de ADN .....	38
<b>Tabla 2</b> Lista de Especies Identificadas en la Costa Oeste de Cozumel. ....	39
<b>Tabla 3</b> Análisis BLAST del gen COI de Muestras Secuenciadas de la Costa Rocosa “El Presidente”. ....	55
<b>Tabla 4</b> Cobertura de Especies de la Costa Rocosa “El Presidente” .....	61
<b>Tabla 5</b> Cobertura de Especies de la Costa Rocosa “El Cozumeleño”. ....	62
<b>Tabla 6</b> Cobertura de Especies de la Costa Rocosa “Caletita”. ....	63
<b>Tabla 7</b> Densidad Poblacional Costa Oeste de Cozumel. ....	64
<b>Tabla 8</b> Índice de Simpson y Shannon, y Riqueza de las Costas del Oeste de la Isla de Cozumel. ....	67
<b>Tabla 9</b> Cobertura Relativa Demospongiae. ....	68

## Introducción

La zona costera es el sitio de fricción donde se integran procesos terrestres y oceánicos cuyos elementos interactúan entre sí, estos procesos moldean de forma constante y estable la orilla continental, definiendo propiedades biológicas, estructurales y de extensión espacial de ecosistemas asociados (González-Solís *et al.* 2017). Para Casarín *et al.* (2014) en su obra Caracterización de la zona costera y planeamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable, la clasificación más usada para las costas es la Shepard (1973), donde considera solamente las características morfológicas y ecológicas de las costas, esta clasificación divide a las costas del mundo en: a) primarias; formada por agentes no marinos, y b) secundarias; formadas por procesos marinos. En la cual hace mención que para el estudio y manejo de la zona costera esta se divide con regularidad en tres ambientes; la zona supralitoral, la zona intermareal y la zona infralitoral.

En el Caribe mexicano, gran parte de las costas rocosas son resultado de antiguos arrecifes coralinos, esqueletos de algas calcáreas y otros organismos microscópicos que con el tiempo se han cementado y ha tenido como consecuencia una piedra caliza altamente soluble destacando el afloramiento de líneas de costas calizo-rocosos, los cuales se han ido erosionando por la energía del oleaje dejando una pendiente resistente y suave de tal modo que sirve de hábitat a un gran número de especies de invertebrados. Por lo tanto, estas playas suelen ser consideradas como costas secundarias, que poseen distintos orígenes de las cuales se encuentran compuestas de arena, pedazos de coral y gran cantidad de restos animales (González-Solís y Torruco, 2015; González-Solís *et al.* 2017).

La distribución de organismos en costa rocosas de grupos faunísticos y florísticos está restringida por ser una zona sujeta a la exposición directa de las olas y el movimiento vertical de las mareas así también esta propenso a diversos cambios por la influencia de factores como viento, temperatura, desecación, salinidad, oxígeno, luz, pH, superficie de fijación, competencia y depredación, pudiendo verse como un sistema con estabilidad temporal, ya que el sustrato rocoso puede persistir por largo tiempo (Vassallo *et al.* 2014; González-Solís *et al.* 2017). En respuesta a estos factores, los organismos de las costas rocosas se han adaptado para hacer frente a particulares regímenes ambientales, lo que ha dado como resultado una zonificación vertical

distintiva y unas diferencias muy importantes entre las comunidades costeras expuestas a las olas y las de playas protegidas.

Desde el punto de vista de la conservación del ecosistema marino, las costas rocosas brindan alojamiento a una compleja variedad de organismos especializados, debido a que estas zonas cuentan con cuevas, grietas y pozas de marea que funcionan como refugio ante el embate de las olas; los organismos que viven en estos ecosistemas utilizan sistemas de adherencia y esqueletos externos gruesos y resistentes (caracoles, quitones), o se ubican en grietas más estrechas donde se adhieren de alguna manera y están más protegidos de la desecación durante la marea baja (pepinos, anémonas, cangrejos) (González-Solís y Torruco, 2015).

Los organismos que habitan los sistemas rocosos pueden clasificarse como criptofauna o epifauna. La criptofauna, está representada por organismos animales que se mimetizan o esconden en el sustrato por medio de la coloración, aspecto o comportamiento. Dentro del grupo de la criptofauna se encuentran los horadores que son aquellos organismos que generan oquedades en la roca o que dejan un espacio hueco en un espacio sólido. También se encuentran los organismos anidadores que solo llegan a ocupar los espacios disponibles. Por otro lado, la epifauna está compuesta por organismos que viven en la superficie de las rocas, tanto adheridas, así como también organismos que se mueven libremente sobre ellas (Vassallo *et al.* 2014).

La criptofauna es de utilidad como un indicador de la calidad ambiental, siendo de especial énfasis la intensidad de la sedimentación o de la resuspensión de sedimento, debido a que el incremento de partículas en la columna de agua puede generar cambios en la composición trófica de los grupos ahí presentes. Por lo tanto, se podría considerar que cuando se tenga poca alteración de partículas en la columna de agua se tendrá una cierta proporción de suspensívoros y sedimentívoros y en cuanto se obtenga un incremento de las partículas en la columna de agua se cree que podría haber cambios en las porciones de los grupos tróficos. Fomentando la proliferación de algunos grupos tolerantes o que reduzca la abundancia de grupos sensibles (Campos-Vázquez *et al.* 1999).

Los organismos filtradores, mejor conocidos como suspensívoros; son todas aquellas comunidades que tróficamente dependen del alimento que se pueda hallar suspendido en la columna de agua y que sin embargo la renovación de la cantidad de alimento se encuentra estrechamente ligado a las corrientes marinas (Universas Nacional Autónoma de México, 2013).

No obstante, se sabe que la sedimentación desmesurada, puede dañar negativamente las funciones y la estructura de procesos físicos y biológicos en los sistemas marinos, que afectaría la supervivencia y fijación de larvas de organismos arrecifales. También es necesario mencionar que aparentemente los sedimentos suspendidos en la columna de agua, presentes en sitios con corrientes intensas, causarían menores problemáticas a las comunidades bénticas (Carmona-Islas *et al.* 2019). Por lo tanto, estos grupos pueden llegar a ser más susceptibles a las variaciones temporales de sedimentos (Gili, 1998). Entre algunos ejemplos que se pueden mencionar de organismos suspensívoros, están los Cnidarios, los Briozoos, Crinoideos y el Fílum Porifera (Gili, 1998; Carmona-Islas *et al.* 2019). Las esponjas son organismos que pueden adherirse a distintos tipos de superficies ya sean estas duras o blandas, encontrándose así incluso en partes de la zona costera (Aguirre, 2012).

Las esponjas son invertebrados de larga vida y crecimiento lento que forman uno de los grupos de animales más antiguos del planeta, con un registro fósil que se remonta al Cámbrico, hace 580 millones de años (Prabhakaran *et al.* 2013). El grupo de los poríferos se caracteriza por presentar una amplia tolerancia ecológica y elevada biomasa, que frecuentemente supera la de los corales, lo que determina que sean buenos competidores por el espacio. Adicionalmente las esponjas constituyen una fuente de alimento y hábitat para muchos otros grupos que pueden vivir asociados a éstas (Núñez Flores *et al.* 2010). Los patrones de abundancia y distribución de las poblaciones de esponjas en un área se explican por la interacción de varios factores siguiendo los gradientes de profundidad, sedimento, estabilidad del fondo, entre otros (Díaz y Zea, 2008). Una de las principales amenazas que presenta este grupo es la destrucción del hábitat en el Golfo de México y en el Caribe, en donde el mayor impacto proviene de la industria turística, la tensión antrópica provocadas por la contaminación y las intensas tormentas que originan cambios ambientales (Torruco Gómez y Gonzales Solís, 2010).

La zona costera es empleada a múltiples actividades: portuarias, pesqueras y turísticas. Esta zona se encuentra bajo una intensa presión debido al crecimiento de la población y el intenso uso del espacio, especialmente de los estuarios y las playas rocosas y arenosas. En Quintana Roo, la importancia de las playas es fundamental como uno de los ejes de mayor desarrollo económico. Debido a esto las zonas costeras son las más vinculadas con varias actividades humanas por su valor turístico y biológico, sin embargo, tanto los arrecifes coralinos, manglares, playas rocosas y

arenosas, y la vegetación costera terrestre están entre los ecosistemas más factibles de ser afectados por los cambios geográficos y biológicos que puede generar las actividades antropogénicas y el cambio climático (González-Solís *et al.* 2017).

### **Antecedentes**

Uno de los primeros científicos de México en iniciar las investigaciones sobre esponjas marinas fue Albany Hancock, describiendo dos organismos de la bahía de Mazatlán en Sinaloa en el año de 1867. Años después en 1873 el naturista Bowerbank realizó la descripción de tres especies, sin mencionar la localidad de la toma de muestra. Sin embargo, el Dr. Gerardo Green fue el primer mexicano en realizar investigación en materia de biodiversidad del filum (Carballo *et al.* 2014). En 1986 Gerardo Green continuo con estudios taxonómicos, que de igual manera que Albany Hancock, se realizó en las islas de la Bahía de Mazatlán Sinaloa, siendo uno de los primeros estudios en costa rocosa, generando la sistematización de 11 especies de esponjas, así como sus características físicas y la zona de localización de estas (Green y Gómez, 1986).

### **Estructura, Diversidad y Observaciones de Esponjas Marinas**

En los últimos años se han realizado diversos estudios sobre la estructura y la diversidad de las esponjas marinas en diversos hábitats, así como la relación de estas con variables abióticas y bióticas. Tal es el caso del estudio realizados por Carballo *et al.* (2008) en el cual se evalúa la composición, abundancia, preferencia por sustrato y el grado de infestación en dos arrecifes de coral (la Entrega y San Agustín) en Oaxaca. Obteniendo información de los porcentajes de infestación de esponjas marinas perforadoras o incrustantes en pedazos de coral adheridas vivas, vivas separadas y separadas muertas o escombros.

De igual forma Nava y Carballo (2008) generaron el estudio sobre la riqueza de especies (S) y la frecuencia de infestación (IF) por esponjas perforadoras en colonias vivas de *Pocillopora verrucosa* (Ellis y Solander, 1786), en la isla Isabel, Nayarit, en el cual se cuantificó la tasa de disolución de carbonatos de *Cliona vermifera* (Hancock, 1867) y *Cliona flavifodina* (Rützler, 1974), así como la cuantificación de la producción de sedimentos de estas. Obteniendo una riqueza de 12 especies agrupadas en cuatro géneros. También los resultados de este estudio sugieren que las esponjas perforadoras podrían ejercer un papel importante como recicladoras de

CaCO<sub>3</sub>, beneficiando incluso a los corales en comunidades saludables al acelerar la reincorporación de carbonato en la columna de agua.

Por otra parte, Caballero *et al.* (2009) han llevado a cabo un estudio en la bahía de Cochinos Cuba, realizando el análisis de la estructura y función de las comunidades de poríferos que conforman el arrecife de dicho sitio, mediante los índices de heterogeneidad, la riqueza, la equitatividad y el cubrimiento, con un total de 30 especies de esponjas.

Si bien, de igual forma se han realizado trabajos para estudiar la estructura de las comunidades de esponjas a través de gradientes de profundidad, tal es el caso de Núñez Flores *et al.* (2010) el cual estudio las comunidades del filum Porífera mediante gradientes de profundidad de 1, 3, 6, 9, 12, 15 y 18 metros de profundidad, asociadas al arrecife coralino de Isla Larga, en el Parque Nacional San Esteban, determinando factores como la densidad, cobertura y la sedimentación que pudieran influir en presencia o ausencia de las especies en el arrecife.

La tesis para la obtención de grado de doctorado de la autora Vega (2012) quien estudió la composición, la distribución y las afinidades biogeográficas de las esponjas (Demospongiae) asociadas a comunidades coralinas, generando un catálogo taxonómico de las esponjas vinculadas a comunidades coralinas en el Pacífico mexicano.

Del mismo modo, se han realizado estudios sobre la estructura de comunidades de poríferos en tres hábitats del arrecife del Parque Nacional Morrocoy en Venezuela, los cuales presentan distintas condiciones ambientales y grados de afectación por el suceso de mortandad masiva de 1996 (Romero *et al.* 2013). En este trabajo se identificaron un total de 27 especies representando un índice de similitud de 74% entre los tres arrecifes.

También podemos encontrar el estudio realizado por Vargas (2019) en el arrecife los Picos de origen no coralino, en el estado de Veracruz, quien elaboró la sinopsis taxonómica de las especies presentes, así como la composición y estructura de las esponjas presentes en el sitio conforme a su cobertura, el porcentaje de asociación epizoica, la abundancia, frecuencia, dominancia, índice de valor de importancia (IVI), índice de diversidad de Shannon (H') e índice de equitatividad, adicionalmente se tomaron los datos de las variables ambientales con el objetivo de contar con una referencia de valores puntuales. En total se identificaron 36 especies iniciando el estudio detallado de la fauna presente en dicho sitio.

Autores como González-Gándara *et al.* (2009) realizaron estudios sobre los primeros registros de esponjas en la zona arrecifal de Tuxpan Veracruz, en donde se contabilizaron 18 especies, de los cuales 17 se registran por primera vez para los arrecifes coralinos y un nuevo registro para los ecosistemas arrecifales de Veracruz.

El trabajo llevado a cabo en la península de Yucatán por Ugalde *et al.* (2015) el cual se llevó a cabo en el arrecife alacranes, arrecife de los bancos de Sisal (serpiente reef y Madagascar reef), en el banco de Campeche, contribuyendo al conocimiento de la diversidad de especies de esponjas del Golfo de México en el sur, el cual permitió la descripción de una especie poco conocida *Erylus trisphaerus* (de Laubenfels 1953).

Vacelet y Boury-Esnault (1996) llevaron a cabo la descripción de una especie nueva de esponja carnívora *Asbestopluma hypogea* (Vacelet y Boury-Esnault, 1996) aceptada como *Lycopodina hypogea* (Vacelet y Boury-Esnault, 1996), colectada en una cueva del mediterráneo, costa de Provenza, Francia. En el cual explican las características del hábitat, del mismo modo, especifican su forma y tamaño, color en vivo y conservado en alcohol, las espículas (megascleras y microscleras) al igual que su citología.

Además, Chu y Reiswig (2014) realizaron las primeras observaciones de liberación, comportamiento y asentamientos de larvas de esponjas carnívoras. En donde las muestras se tomaron del mar Salish; Canadá, obteniendo muestras de 127 adultos de *Asbestopluma* (*Asbestopluma*) *occidentalis* (Lambe, 1893) aceptado como *Lycopodina occidentalis* (Lambe, 1893), encontradas en lechos de roca dura de paredes verticales, en los cuales se encontraban especímenes sexualmente inmaduros y maduros.

El estudio realizado por Ruíz (2009) genera la evaluación de los detalles morfológicos y variación por medio del análisis de su esqueleto y espículas de *Discodermia dissoluta* (Schmidt, 1880) para determinar la conformación del esqueleto, los canales inhalantes y exhalantes, así como las cámaras de coanocitos, de igual forma se determinó e interpreto la abundancia y distribución local, así como su relación con las variables bióticas y abióticas. Abarcando como área de estudio desde la parte norte de la bahía de Santa Marta, hasta la parte norte de la ensenada de Granate en el Caribe colombiano. Encontrando un total de 177 esponjas, en donde la mayoría de las muestras eran de tallas pequeñas, pocos medianas y algunos muy grandes apuntando a un alto reclutamiento o fragmentación y de mortalidad mayor para las tallas

pequeñas y menor para las tallas grandes, encontrándose principalmente en sitios y bahías mayormente protegidas de sustrato duro, horizontales a inclinados.

Hay que tener en cuenta que, al momento de realizar algunos inventarios sobre la composición de los arrecifes, diversos autores no solo toman en cuenta un grupo faunístico, sino que generan un inventario de más de 2 o 3 grupos en uno o más arrecifes, tal es el caso de Francisco y Bandala-Pérez (2016) quienes realizaron el inventariado de esponjas, hidrocorales y antozoos, así como la estimación de la cobertura bentónica del arrecife Oro Verde en el estado de Veracruz, México, los cuales incluían algas, esponjas, hidrocorales, corales, octocorales, y de los componentes físicos del hábitat: pavimento, escombros y arena.

El artículo realizado por Carmona-Islas *et al.* (2019) en el cual se identificaron anemonas, moluscos, erizos, estrellas de mar, esponjas y poliquetos. Con este inventario se elaboró una tabla de presencia y ausencia para los distintos arrecifes muestreados. Realizando un análisis de similitud entre diversos arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

Derivado de diversos estudios Torruco Gómez y Gonzales Solís (2010) ha realizado la síntesis sobre la importancia de las esponjas marinas en Yucatán, en donde hace mención sobre la estrecha relación que existe entre diversos organismos y las esponjas, así como su interés comercial y las amenazas que puede presentar este filum.

### **Las Esponjas Marinas Como Bioindicadores**

Si bien las esponjas marinas han sido utilizadas como indicadoras de contaminación o perturbación en distintos ambientes acuáticos, para empezar, tenemos el trabajo de Alcolado y Herrera (1987) quienes analizaron la estructura ecológica de las comunidades de esponjas, en relación con la contaminación de la bahía de la Habana Cuba, con la finalidad de que las comunidades de esponjas marianas sean de utilidad para el monitoreo ambiental. Destacando que la especie *Clathria (Thalysias) venosa* (Alcolado, 1984), tiende a una alta dominancia en zonas con mayor afectación por la contaminación y que es una especie que en condiciones naturales, se encuentra entre las escasas o muy escasas de las comunidades, evidenciando su relación con la contaminación. Entre otras de las comunidades que se encontraron, destaca de igual forma *Lotrochota birotulata* (Higgin, 1877) que presentó porcentajes elevados en áreas contaminadas, así como de igual forma *Callyspongia vaginalis* (Lamarck, 1814) aceptado como *Callyspongia*

(*Cladochalina aculeata* (Linnaeus, 1759) se encontró con porcentajes apreciables en estas zonas. Sin embargo, así como se encuentran comunidades de especies de esponjas en zonas contaminadas, también se presentan esponjas con alto nivel de presencia en zonas no contaminadas, tal es el caso de *Ulosa ruetzleri* (Wiedenmayer, 1977) aceptado como *Scopalina ruetzleri* (Wiedenmayer, 1977) y *Aplysina fistularis* (Pallas, 1766) especies que habitan en lugares limpios. Por lo tanto, la clasificación numérica de esponjas muestra las diferencias que existen entre las distintas áreas contaminadas y no contaminadas, demostrando la respuesta de las comunidades a la contaminación orgánica.

De igual forma Holmes (2000) desarrolló la comparación sobre la abundancia, la frecuencia de invasión y la composición del género *Cliona*, en escombros de coral muerto en tres comunidades de arrecifes de Barbados, consiguiendo aportar que las composiciones de especies de cliónidos en sitios intermedios y contaminados llegaron a ser más similares que en el sitio menos contaminado. De igual forma los tres índices de invasión examinados (la proporción de fragmentos de escombros invadidos por cliónidos, el número de invasiones de cliónidos por muestra y el número de especies por muestra) tienden a aumentar con el aumento del nivel eutrófico del arrecife.

Sin embargo, también está el trabajo realizado por Carballo y Naranjo (2002) generando la contribución de indicadores biológicos que permitan predecir cambios ambientales, proponiendo a las esponjas y ascidias; en el cual se muestrearon 17 sitios en la bahía de Algeciras al sur de España, agrupando los sitios en zonas de ecosistemas aislados, sitios de perturbación moderada, zonas directamente influenciadas y zonas fuertemente perturbadas. Reflejando que, mediante el uso de la estructura de macroinvertebrados de esponjas y ascidias, es posible discriminar áreas no perturbadas con áreas perturbadas, mediante análisis de similitud, a través de la ausencia/presencia de especies encontradas en los sitios. En donde las especies *Cliona vastifica* (Hancock, 1849) aceptado como *Pione vastifica* (Hancock, 1849), *Policitor adriaticum* (*Tunicado*) y *Scopalina lophyropoda* (Schmidt, 1862), contribuyen a la separación de las áreas perturbadas y no perturbadas. En donde su presencia conjunta de estas tres especies en un área específica indica una situación ambiental que no está demasiado alterada antropogénicamente.

Por otro lado, Chaves-Fonnegra *et al.* (2007) realizaron un reconocimiento lineal de la influencia de aguas residuales sobre la biota béntica, cuantificando las bacterias coliformes

presentes en el moco coralino, así como establecer la relación de la abundancia de *Cliona delitrix* (Pang, 1973) y otros componentes bénticos con relación a las distancias de las aguas residuales sin tratar en la isla de San Andrés Colombia en arrecifes dominados por corales pétreos. En el estudio se confirma que la esponja excavadora *C. delitrix* (Pang, 1973) puede incrementar su abundancia en áreas moderadamente expuestas a contaminación orgánica, siendo un bioindicador potencial. De igual forma se detecta que la influencia de la abundancia de *Escherichia coli* (Escherich, 1885) presentes en el moco de coral puede extenderse de 1 hasta 2 Km desde una zona de descarga.

De la Nuez Hernández *et al.* (2011) estudiaron la diversidad y abundancia de las comunidades de esponjas, en el cual determinaron el índice de contaminación (IC) mediante la sumatoria de los porcentajes de abundancia relativa de especies indicadoras de contaminación: *Clathria (Thalysias) venosa* (Alcolado, 1984), *Cliona delitrix* (Pang, 1973) e *Iotrochota arenosa* (Rüetzler *et al.*, 2007). Llevando a cabo el estudio en la zona de los Bajos de Sancho Pardo, en la región noroccidental de Cuba. En donde se identificaron un total de 50 especies de esponjas, encontrando bajos índices de contaminación (IC) debido a que la zona se encuentra alejada de los asentamientos humanos y reafirma la utilidad de este indicador.

De igual forma Busutil y Alcolado (2012) valoraron la potencialidad para la bioindicación ambiental del índice de contaminación (IC) basado en la abundancia relativas porcentuales de *Clathria (Thalysias) venosa* (Alcolado, 1984), *Cliona delitrix* (Pang, 1973) e *Iotrochota arenosa* (Rüetzler, Maldonado, Piantoni y Riesgo, 2007), realizando en 102 sitios de arrecifes de Cuba agrupados en 11 áreas de plataforma en estudios realizados previamente. Proponiendo su uso para estudios de diagnósticos de contaminación orgánica de origen urbano, debido a los resultados obtenidos. Sin embargo, en este estudio *C. delitrix* (Pang, 1973) fue descartada en el índice de contaminación debido a que la contaminación potencia su desarrollo, pero no determina su mayor presencia.

Estudios realizados por Cruz-Ferrer (2012) en el sistema arrecifal Lobos Tuxpan, obtuvieron información sobre la distribución y abundancia de *Ircinia fistularis* (Verrill, 1907) aceptado como *Ircinia felix* (Duchassaing & Michelotti, 1864) e *Ircinia strobilina* (Lamarck, 1816), así como también generando información sobre la fauna asociada, considerando su importancia como hospederos arrecifales. Encontrando un total de 20 especies relacionados con *Ircinia*

*felix* (Duchassaing & Michelotti, 1864) e *Ircinia strobilina* (Lamarck, 1816), representados por crustáceos, poliquetos, ofiúridos, bivalvos, gasterópodos y sipuncúlidos. Convirtiendo a estas dos especies de esponjas en espacios adecuados para el establecimiento de comunidades especialmente de poliquetos, crustáceos y equinodermos en donde parte de esta fauna corresponde a etapas larvales, juveniles o reproductivas que fortalecen la importancia de las esponjas como espacios de alojamiento, área de crianza y alimentación que favorece la diversidad biológica de los arrecifes coralinos. Pudieron ser indicadores de perturbación en el hábitat.

También podemos incluir la investigación de López (2013) en el litoral de Cuba la Habana, no específicamente en la línea de costa, en donde la mayoría de los sitios de muestreo se ubicaban a más de 100 metros de distancia de la línea de costa ubicadas enfrente de las desembocaduras de los ríos aledaños, en terrazas rocosas así como composición de fondos areno-fangosos con arrecifes frontales este trabajo consistió en la evaluación de seis indicadores ecológicos de las comunidades de esponjas como bioindicadores potenciales de contaminación así como determinar si las especies *Clathria (Thalysias) venosa* (Alcolado, 1984) y *Cliona delitrix* (Pang, 1973) son bioindicadores de contaminación fecal. En donde *Clathria (Thalysias) venosa* (Alcolado, 1984) mostró gráficamente una relación exponencial entre el grado de contaminación de los sitios y los índices de contaminación, sin embargo, *Cliona delitrix* (Pang, 1973) se descartó como tal. Por otra parte, ambas especies fueron descartadas en este trabajo como bioindicadores de contaminación fecal. En cambio, las abundancias y los cubrimientos relativos de especies de esponjas son efectivos como bioindicadores de contaminación elevada en arrecifes coralinos, así como el índice de contaminación y las densidades de *C. venosa* por m<sup>2</sup>, resultan de ser los bioindicadores más útiles para detectar, a partir de las comunidades de poríferos, contaminación elevada en arrecifes coralinos.

Morales *et al.* (2020) generaron el estudio de nuevos datos sobre la presencia de esponjas dulceacuícolas y su ecología en la cabecera de la cuenca del río Ebro de la Península Ibérica, en el cual se considera que la abundancia de poblaciones de *Spongilla lacustris* (Linnaeus, 1759) aceptado como *Spongilla alba* (Carter, 1849) variado a *Spongilla lacustris var. bengalensis* (Annandale, 1906), en los tramos altos, de aguas más oxigenadas y menos mineralizadas, cálidas y ricas en nutrientes, en zonas de dinámica lenítica y aguas profundas, su presencia está

relacionada con la productividad de fitoplancton y la calidad del agua reforzando su papel como bioindicador de tramos con condiciones oligo y mesotróficas, y calidad óptima o buena, de igual forma se contribuyó al conocimiento sobre *Ephydatia muelleri* (Lieberkühn, 1856) especie escasamente citada.

### **Identificación de Esponjas Marinas a Partir de Secuencias de ADN**

Entre uno de los desempeños por conocer las secuencias de ADN sobre esponjas marianas está el realizado por Schmitt *et al.* (2005) quienes lograron componer los árboles filogenéticos de la familia Aplysinidae basados en la información de secuencias del gen ARNr 18s y secuencias del espaciador ITS2, en donde pudieron resolverse las relaciones entre los géneros *Aplysina*, *Aiolochoira* y *Verongula*, así como también se dieron distintos grupos de *Aplysina* uno pertenecientes al Caribe y el Pacífico oriental y un grupo mediterráneo. Las muestras de esponjas mediterráneas fueron tomadas en Francia e Italia, mientras que las muestras del caribe se realizaron en la costa de la isla Little San Salvador, Bahamas y Una muestra del Pacífico oriental se tomó en alta mar en el Instituto de Oceanografía Scripps, San Diego, California, EE. UU.

Mientras que Erpenbeck *et al.* (2007) analizaron las secuencias genéticas COI de 166 individuos de esponjas con el propósito de redificar un árbol genético de Demospongiae representativas del Mar Caribe, con el fin de valorar la capacidad de resolución filogenética de fragmentos de COI de esta clase, así como su posibilidad para establecer un sistema taxonómico de ADN. Si bien en este estudio se menciona que las muestras fueron obtenidas de diferentes regiones y hábitats del Caribe, sin mencionar el sitio en específico. Por otra parte, en este estudio se obtuvo que las diferencias topológicas individuales son congruentes en las ramas superiores que, al contrario de algunas de las diferencias topológicas más profundas entre los nodos, en donde las divisiones internas suelen tener un soporte débil.

Además, Pöppe *et al.* (2010) estudiaron si el dominio de resolución del fragmento de barras estándar COI puede ser suficiente para la familia Irciniidae, así como evaluar la evidencia de especiación críptica de Irciniidae. Las muestras fueron tomas de las costas de Australia y una de Tailandia a través de buceo. Si bien, los fragmentos de COI en este estudio mostraron separaciones claras a nivel supraespecífico, facilitando la correcta identificación de los géneros objetivos, siendo una herramienta importante para detectar especiaciones crípticas y ayuda a la

taxonomía. Sin embargo, para realizar una identificación taxonómica a nivel de especie inequívoca estos autores recomiendan realizar las secuencias de COI en combinación con otros marcadores de ADN.

También podemos adicionar el esfuerzo de Cárdenas *et al.* (2011) quienes realizaron el trabajo sobre la primera filogenia molecular integral del orden Astrophorida a partir de las secuencias del fragmento de Folmer de la subunidad 1 (COI) del citocromo c oxidasa mitocondrial y la parte terminal 59 del gen 28S rRNA nuclear. Así como probar la monofilia de los subórdenes Euastrophorida / Streptosclerophorida y de las familias y géneros Astrophorida. De igual forma se indagó la evolución de las espículas megascleres y microcleres del orden Astrophorida con el fin de evaluar la importancia de los caracteres de las espículas homoplásticas en este orden. En el cual se muestrearon un total de 89 especies de localidades como Noruega, el mar de Groenlandia, Panamá, Portugal, arrecifes de coral de aguas profundas frente al Cabo Santa María di Leuca y al sur de las Azores.

Voigt *et al.* (2012) analizaron las relaciones dentro de la clase Calcárea con respecto a la evolución de ciertos caracteres morfológicos, aumentando los taxones disponibles y conjunto de caracteres de secuencias del rDNA de la subunidad pequeña completa (SSU) y el rDNA de la subunidad grande completa (LSU) de grupos adicionales. Obteniendo las muestras del Mar Rojo (Golfo de Aqaba), la Gran Barrera de Coral y aportaciones de colecciones de museos. Del cual se obtuvieron órdenes no filogenéticos, así como también se encontraron grupos polifiléticos adicionales, igualmente se revelaron relaciones entre grupos hermanos dentro de esta clase.

Por otro lado, León-Pech *et al.* (2015) generaron el estudio sobre la diversidad genética y diferenciación entre poblaciones de *Cliona vermifera* (Hancock, 1867), utilizando las secuencias de dos genes del ADN mitocondrial (ADNmt) y uno nuclear. En cinco comunidades coralinas del Pacífico mexicano en los cuales se recolectaron 25 fragmentos de coral infestados por *C. vermifera* (Hancock, 1867) por sitio, en donde se obtuvo el alineamiento de las secuencias del COI, secuencias del ATP6, así como secuencias del ITS.

Voigt y Wörheide (2015) realizaron la evaluación sobre el uso de la región ITS y el fragmento de LSU variable corto, como marcador de ADN estándar para trabajos a nivel intragénero en esponjas calcáreas. De igual manera propone el modelo de estructura secundaria para la región LSU, con el propósito de que brinde apoyo como guía para la alineación del ADN. En este

trabajo se menciona que el gen COI se ha establecido como un marcador de código de barras estándar para diversos taxones, entre ellos las Demospongias, sin embargo, en esponjas calcáreas este no es útil, debido a las características peculiares del genoma mitocondrial calcáreo.

Otro de los trabajos realizados fue el de Ariza Pérez (2017), llevado a cabo en el arrecife del Parque Nacional de Cabo Pulmo, B.C.S. en la cual se analizaron los microbiomas de tres especies de esponjas, así como la identificación de las especies de esponjas mediante el gen de la subunidad 1 del citocromo c oxidasa mitocondrial (COI). Otra de las labores para obtener las secuencias de ADN es el realizado por Chilma Arias (2018) concretando un estudio para identificar cuál es la filogenia de esponjas de agua dulce, realizando análisis moleculares fundamentados en la extracción del gen mitocondrial Citocromo c Oxidasa Subunidad 1 (COI) en muestras de tres ríos (Río Orinoco, Río Amazonas y el Río Magdalena-Cauca). En donde de las 66 muestras a que se colectaron solo a 38 se les logró amplificar el gen mitocondrial Citocromo c Oxidasa subunidad 1 (COI).

### **Estudios Sobre Esponjas Marinas en Quintana Roo**

Sin embargo, en Quintana Roo se han llevado a cabo trabajos realizados por Gómez y Green (1984), exactamente en el municipio de Puerto Morelos, generando una sistematización de 20 especies de esponjas de una colectada de 40 individuos. Siendo uno de los primeros esfuerzos por realizar la sistematización de esponjas en la Costa Norte de Quintana Roo.

Otro de los trabajos es el realizado por Maas-Vargas (2004) el cual presenta el inventario de las esponjas marinas del Caribe mexicano, iniciado en 1992 por el ECOSUR. El catálogo consistió en la recolección de organismos de esponjas en trece localidades de Quintana Roo, entre ellas Cozumel. En total la colección contó con 50 especies, en donde solo se reportó una especie para Cozumel.

Otro de los estudios realizados en Isla Cozumel, fue el generado por Maas-Vargas y Bahena Basave (2008). Ellos realizaron un estudio sobre las especies de esponjas marinas más frecuentes, así como de exponer las características e ilustraciones para facilitar su identificación. Si bien en este estudio se identificaron un total de 11 especies de este filum.

Reyes Bonilla (2011) en su proyecto, ordenó y sistematizó toda información existente sobre las especies de interés para monitoreo en los arrecifes de Cozumel, en el cual incluían a las

esponjas marinas, obteniendo un total de 56 especies de esponjas en el área del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, obtenidas mediante información bibliográfica, además se realizó el cálculo de las coberturas de los distintos componentes del fondo marino, en el cual para el caso de las esponjas estas aparecían en el proyecto englobadas y no por especies. En donde se hace referencia a tres niveles de abundancia de esponjas): altos, intermedios, y bajos. Pudiendo explicarse por la menor tolerancia a la abrasión causada por el sedimento en movimiento, y a velocidades excesivamente altas de la corriente, la posterior ocurrencia de los ciclones y la elevación de la cobertura producto de la fragmentación de lo que eran grandes colonias de poríferos.

Loreto-Viruel *et al.* (2017) realizaron la caracterización de Banco Arrowsmith localizado al este de Punta Cancún, describiendo la topografía, así como la diversidad biológica, del cual se adquirió la batimetría y un modelo digital de terreno, también se obtuvo el inventario de la riqueza de especies, abundancia y distribución de algas, corales, esponjas y peces, en donde se logró tener una riqueza de esponjas de 21 especies en total, siendo los constructores secundarios de los fondos marinos.

Sin duda alguna hay que tener en cuenta que la mayoría de las investigaciones sobre esponjas marinas se han desarrollado en zonas arrecifales, bahías, ríos y desembocaduras de estos. Siendo poco conocidas su diversidad en zonas de línea costeras.

### **Justificación**

A pesar de que en las últimas décadas ha existido un incremento de estudios sobre la estructura de las comunidades de poríferos, estas se han limitado a zonas arrecifales, bahías, ríos y desembocaduras de éstos. Dejando un espacio vacío de conocimiento sobre las líneas de costas rocosas del este de Cozumel en donde este filum se desarrolla con gran facilidad gracias al sustrato sólido del cual pueden adherirse, sin embargo, se encuentran bajo una constante presión en competencia por el sustrato, depredación, el impacto de huracanes y destrucción del hábitat.

Por lo tanto, es fundamental realizar el inventario de poríferos, así como describir su estructura y variación espacial en un gradiente de profundidad en las líneas de costas rocosas y por consiguiente tener un mejor conocimiento del estado de salud de las costas de Cozumel con

influencias de actividades humanas a través de la presencia y ausencia de especies indicadoras de contaminación mediante un índice de contaminación (IC).

Este tipo de estudios se puede ver fortalecido con el uso de la clasificación de esponjas con métodos tradicionales, complementados con el conocimiento de la secuenciación del gen COI de algunas esponjas de Cozumel; así como también equipo para el levantamiento de datos en campo y software para el procesamiento de información. Contribuyendo con información preliminar para trabajos futuros en materias de ecología, conservación y manejo de las costas. En definitiva, esta tesis brindará información útil sobre aspectos ecológicos a través de información notable sobre la estructura vertical de los poríferos en dos niveles de profundidad en playas rocosas de la isla de Cozumel y su factibilidad como indicadores a través del índice de contaminación.

### **Planteamiento del Problema**

La falta de estudios relacionados a la diversidad y coberturas de poríferos en costas rocosas del Oeste de Cozumel genera un vacío de información sobre este filum suscitando la siguiente cuestión: ¿Cuál es la diversidad y cobertura de poríferos en gradientes de profundidad de 1 y 3 metros, respecto a costas rocosas de la zona oeste de Isla Cozumel?

### **Hipótesis**

Debido a la cercanía a la zona urbana y portuaria de las costas rocosas el Presidente y Caletita, se espera encontrara un menor índice de diversidad y cobertura de esponjas marinas en estos sitios, posiblemente influenciada por los contaminantes provenientes de la ciudad, y generando la proliferación de algunos poríferos indicadores de contaminación. Mientras que en la zona más al norte alejada de la zona urbana se espera contar con un mayor índice de diversidad y coberturas de esponjas marinas.

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Describir la diversidad de esponjas marinas mediante los índices de Shannon y Simpson (equidad y dominancia) a través de gradientes de profundidad por estimación directa en costas

rocosas (El Cozumeleño, El Presidente y Caletita) del oeste de Cozumel y la cobertura total por especies, evaluando su factibilidad como indicadores por medio de un índice de contaminación (IC).

### **Objetivos Particulares**

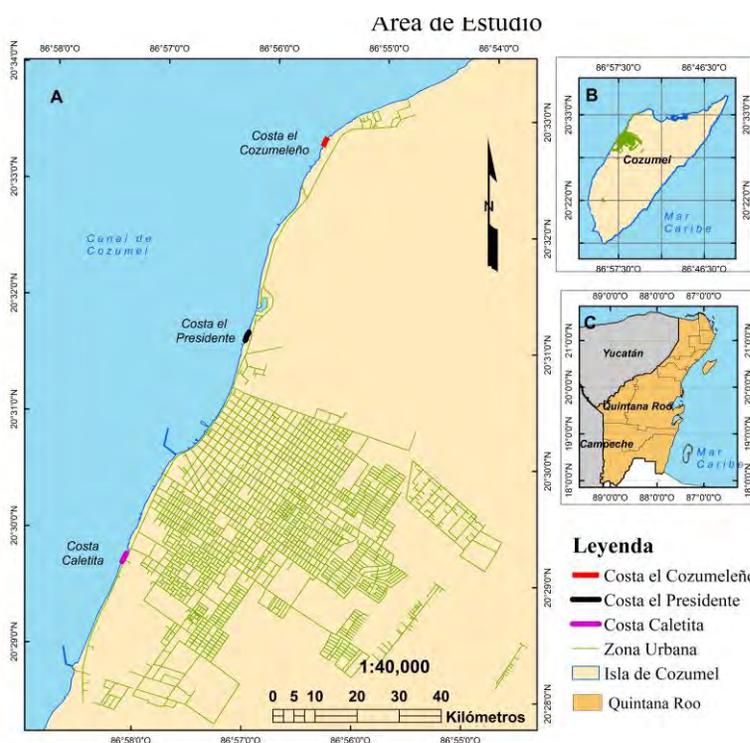
- Realizar fototransectos en dos gradientes de profundidad de las comunidades de esponjas en algunas costas rocosas del oeste de Cozumel.
- Producir preparaciones permanentes de espículas para la identificación de especies, con microscopía de luz.
- Complementar la clasificación a nivel de especie de algunos poríferos de playas rocosas, por medio de secuencias de ADN del gen de la subunidad 1 del citocromo c oxidasa mitocondrial (COI).
- Generar una base de datos con los nombres científicos, fotografías y referencia sobre esponjas marinas de costas rocosas del oeste de Cozumel.

### **Área de Estudio**

El estudio se llevó a cabo en Isla Cozumel, la cual constituye uno de los once municipios del Estado de Quintana Roo, ubicado en el extremo Oeste del Caribe Mexicano, aproximadamente a 16.5 km al Este de la Península de Yucatán y al Norte del estado de Quintana Roo, siendo parte del territorio insular del estado, con dos pequeños territorios en el sector continental. La Isla tiene colindancia con el municipio de Solidaridad al norte y al sur, así como al este con el Mar

Caribe y al oeste con el municipio de Solidaridad. Isla Cozumel se encuentra entre las coordenadas extremas, al norte 20° 36', al sur 20° 16' de latitud norte, al este 86° 44' y Oeste 87° 20' de longitud Oeste (SECTUR, 2014; INEGI, 2017).

**Figura 1**  
*Zona de Localización.*



Nota: A) Áreas de muestreo. B) Isla de Cozumel. C) Península de Yucatán. Datum WGS 1984. Escala 1:30 000  
Elaboración propia. Fuentes: INEGI (2019). Marco Geoestadístico. Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:4 000 000;  
CONABIO (2011). Zonas Económicas Exclusivas de México. Limite Nacional. Escala 1: 250 000.

Cozumel representa el 1.3% de la superficie total del estado, con un área total de 684.48 km<sup>2</sup>. Conformado tanto como isla, así como islotes y cayos adyacentes, también se incluye un polígono de 422 y otro de 83 hectáreas en la zona continental, los cuales representan las instalaciones de CALICA1 y el Parque Ecológico Xel-Ha 2, según la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2007). Aunado a esto la isla, precisa una longitud máxima de 56 km y una anchura de 15 km, con una elevación natural de menos de 13 msnm,

incluso además en Cozumel se localiza el sitio más oriental del país, nombrado Punta Molas (SECTUR, 2014).

Con base a la INEGI (2021), en los datos del censo del 2020 en Cozumel se tiene un total de 88 626 habitantes, con un total de 44 415 hombres y 44 211 mujeres. En la que la actividad económica más importante es el turismo, siendo visitada principalmente por cruceristas. Sin embargo, también cuenta con actividad agrícola, apícola y ganadera con muy poca importancia en la isla, así como actividad comercial de disponibilidad de artículos artesanales y artículos de importancia (SECTUR, 2018).

### **Geología**

La isla se encuentra constituida principalmente por sedimentos calcáreos, que yacen desde el Terciario y Reciente, denominando cuatro estratos. La más antigua denominada como Formación Cozumel: formado por la acumulación de calizas y dolomías, esta formación no aflora en ningún lado de la isla; en la parte superior a esta se presenta la Formación Chankanaab: originada del levantamiento o horst derivada de actividades tectónicas; en la parte media se encuentra la Formación de Abrigo: formado por rocas carbonatadas inconsistente, teniendo afloramiento en la parte centro-occidental de la isla; y en la parte superior se encuentra la Formación Mirador, compuesta de calizas, areniscas estratificadas, así como sedimentos calcáreos compactos, aflorando predominantemente en el litoral accidental de la isla (CONANP, 2007).

### **Edafología**

Según datos del INEGI (Sf), en Cozumel se distribuyen cinco tipos de suelos, cada uno con proporciones de cobertura distintas. Entre los suelos más representativos de la isla se encuentra el Leptosol, este tipo de suelo cubre gran parte de la superficie insular, posicionándose en la parte central de la isla y seguido de este el Solochack, con gran parte de su cobertura en la zona norte y una pequeña porción en la zona sur, localizándose principalmente en sitios pantanosos.

Entre los tipos de suelos poco peculiares presentes en Cozumel se encuentra los de tipo: Gleysol, hallado únicamente en la parte occidental de la isla con poca cobertura; Regosol, ubicado en la parte sur de la isla desde playa Palancar hasta Punta Celarin y Arenosol este último

tipo de suelo se encuentra en la franja de la parte occidental de la isla cubriendo desde la zona sur hasta la norte, fragmentado debido a la carretera que le da la vuelta a la isla en la zona occidental.

### **Hidrogeología**

A causa de la permeabilidad del suelo en Cozumel no se presentan corrientes superficiales. Sin embargo, existen sistemas como lagos, lagunas, charcos temporales, cenotes y bordos que suelen ser escasos, estos se encuentran presentes en la isla, entre las que se pueden identificar entradas de aguas marinas como lagunas, tales como la laguna Colombia y la laguna Chankanaab, la laguna Ciega, Montecristo y Rio La Plata (Martínez *et al.* 2012; SECTUR, 2014).

Acorde a la SECTUR (2018), en Cozumel no se desarrolla algún tipo de drenaje que se considere como corriente, esto ocasionado por la alta permeabilidad del suelo, generando que el agua precipitada se filtre rápidamente o se acumule en las zonas inundables de las zonas norte y sur de la isla. Sin embargo, debido a las características geológicas, casi el total del subsuelo forma parte de un acuífero. Contenido principalmente en las formaciones Chankanaab y Abrigo, formando un único cuerpo que viaja sencillamente por la porosidad de estos estratos. Formado por un lente de agua dulce que flota por menor densidad sobre el agua salada, considerando de este modo a la isla como un acuífero de aguas freáticas, localizando la mayor recarga y grosor del acuífero en la zona central, para después desplazarse hasta la costa por medio del subsuelo de manera radial hasta llegar al mar (CONANP, 2007).

Sin embargo, debido a la peculiar naturaleza cárstica de Cozumel es posible encontrar afloramientos de agua, generados por la disolución de la roca calcárea. Tal como el cenote Caletita, el cual no posee bóveda provocando que el cuerpo de agua este completamente expuesto a las condiciones atmosféricas cabe destacar que cuenta con afloramientos u ojos de agua costero los cuales se encuentran ubicados en la región suburbana y litoral costero (Sánchez y Pinto *et al.* 2015).

## **Climatología**

Acorde a los datos de la INEGI (2017), Cozumel tiene presente un clima del tipo Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am). Mostrando una temperatura media anual de 27.6°C con una oscilación mínima de 24.7°C y un máximo de 29.8°C en promedio. También manifiesta una precipitación total anual de 1387.0 mm. Con precipitación máxima entre los meses de agosto y noviembre y una mínima de lluvias a partir de mayo y hasta mediados de agosto, de igual manera contiene un periodo de norte que inicia a mediados de noviembre y que concluye a finales de abril conforme a los datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019).

Acorde a la secretaria de Turismo (2014), las corrientes de viento que dominan en la costa oriental son los llamados Vientos Alisios, dominando entre los meses de febrero y septiembre, siendo predominantes de la zona este a la sureste con velocidades en promedio de 15 Km/hr, consiguiendo a menudo velocidades de 30 Km/hr, así como velocidades de 80 a 90 Km/hr en depresiones atmosféricas y hasta más de 120 Km/hr en Huracanes. La dominancia de los Alisios en la zona este de la isla deja expuesto su lado oriental al fuerte oleaje generando cierta tendencia a la erosión, produciendo una orografía de escalones y pequeños acantilados en algunos puntos de la costa, la situación cambia en invierno, cuando vientos del norte y noroeste llegan a la costa occidental exponiendo a la costa a estos vientos (CONANP, 2007).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que, debido a la posición geográfica de la isla, el territorio acoge los ciclones tropicales producidos en el este del mar caribe en el océano Atlántico, durante las temporadas de mayo a noviembre, posterior al periodo de nortes (SECTUR, 2018). La energía destructiva que estos fenómenos naturales presentan, son vistos con los daños ocasionados a las infraestructuras y construcciones humanas, y así como el impacto ocasionado a los ecosistemas (CONANP, 2007).

## **Corrientes Marinas**

En el canal de Cozumel y el macizo continental se presenta una corriente dominante de sur a norte, con una velocidad variable entre uno y tres nudos, dependiendo de la época del año con un promedio de velocidad de 1.5 nudos (75 cm/seg) sin embargo también se cuenta con

contracorrientes litorales norte-sur que alcanzan velocidades de 2 nudos, con una duración no mayor a 8 horas diarias.

También en las inmediaciones de paraíso y chankana'ab se registran contracorrientes en dirección al sur y sur suroeste, de igual forma durante el invierno existe contracorrientes a 200m de profundidad, cuya dirección varia, con una velocidad de 1.3 nudos (APIQROO, 2008).

### **Descripción de Sitios**

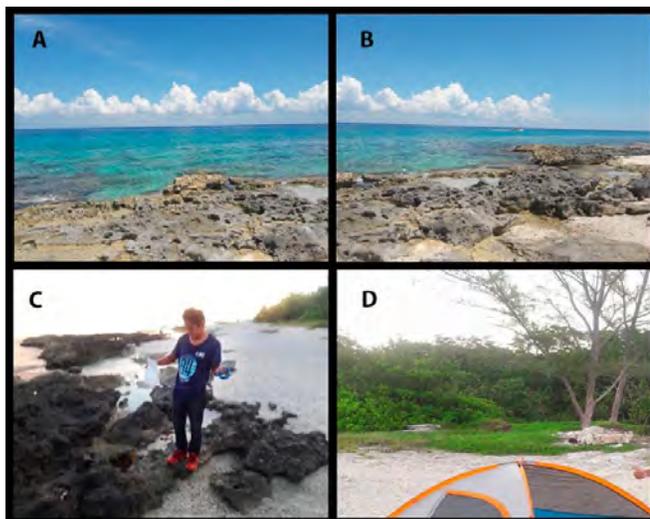
Los sitios de estudio fueron seleccionados bajo criterios de conveniencia a través de características definidas entre ellas. Entre las características que se tomaron en cuenta son: 1) que se encontraran en la parte Noroeste de la isla, localizados dentro de la ciudad de San Miguel de Cozumel, así como en los limites norte de la zona hotelera y sur hasta playa caletita, 2) son sitios de libre acceso y 3) los sitios de estudio se localizan en la parte del barlovento de la isla localizadas en la zona occidental de la misma.

### **Sitios**

#### **El Cozumeleño**

La Costa Rocosa “El Cozumeleño”, tiene aproximadamente una distancia de longitud de costas de 183 m de largo con las coordenadas; a)  $20^{\circ}32'59''N - 86^{\circ}55'41''W$  y b)  $20^{\circ}33'03''N - 86^{\circ}55'37''W$ . Cuenta con un área de arena de aproximadamente  $2,130 m^2$  y un área de vegetación de aproximadamente  $24.500 m^2$ . Cuenta con una profundidad de aproximadamente 2 m. Hasta el momento se considera una playa publica en donde prácticamente los únicos negocios cerca son los que ofrecen el servicio de hospedaje como el Hotel “El Cozumeleño Beach Resort All Inclusive” y “The Westin, Cozumel” encontrándose en la Zona Hotelera Norte en el Km 4.5.

La figura 5 muestra claramente el estado físico en el que se encuentra la playa desde la línea de Costa, así como la zona de transición entre la arena y la selva.

**Figura 2***Costa Rocosa “El Cozumeleño”.*

Nota. A y B; imágenes de la línea de costa con enfoques diferentes. C; panorama de la transición de la costa rocosa y la arena de la playa, así como el inicio de la zona de selva. D; imagen de la transición de la zona de arena a selva.

### **El presidente**

La Costa Rocosa “Mirador Base Área (el presidente)”, se encuentra localizada entre las coordenadas  $20^{\circ}31'23''\text{N} - 86^{\circ}56'35''\text{O}$  y  $20^{\circ}31'27''\text{N} - 86^{\circ}56'32''\text{O}$ . Esta playa cuenta con aproximadamente 160 m de línea de Costa, este sitio no cuenta con negocios aledaños, sin embargo, se encuentra entre la casa presidencial, y una casa de propiedad privada.

**Figura 3***Costa Rocosa “El Presidente”.*

Nota. *A y B*; imagen del litoral rocoso con perspectivas diferentes. *C*; panorama de la zona rocosa y vegetación aunada. *D*; imagen de la zona de selva.

La Zona cuenta con una profundidad de aproximadamente 4 m. Esta costa a comparación del Cozumeleño y Caletita, no cuenta con ninguna porción de arena, prácticamente toda la zona es de característica rocosa con un área aproximada a 2,674 m<sup>2</sup>, en donde yacen ciertos parches con flora sobre la roca, sin embargo, cuenta con un área de selva de aproximadamente de 6,354 m<sup>2</sup>.

### Caletita

La Costa Roca Caletita se encuentra entre las coordenadas 20°29'36''N – 86°57'55''W a 20°29'40''N – 86°57'52''W, la cual cuneta un perímetro de línea de costa de 155 m de longitud, en esta zona se hacen presentes negocios de comida tal es el caso de Chac-Grill y Fratelli restaurante bar, así como el muelle exclusivo para el transporte de vehículos propios y de cargamento, aunado a todo esto, en esta zona incluso yace un ojo de agua salobre (Sanches-Pinto *et al.* 2015).

### Figura 4

*Costa Roca “Caletita”.*



Nota. A) Zona de acceso a la playa, también se puede apreciar el muelle para el transporte de vehículos, B y C) Imagen del litoral roco en donde se observan los establecimientos de alimentos. D) Área de flora ubicados a un costado de los establecimientos de comida.

Sin embargo, este lugar tiene poca área de vegetación a comparación de los de la playa el Cozumeleño y el Presidente ya que la zona de costa ha sido modificada para las instalaciones de los negocios antes mencionados. Dejando una porción de 1,099.32 m<sup>2</sup> de área con flora, y un área de costa rocosa de aproximadamente 2,929.84 m<sup>2</sup>.

Hay que tener en cuenta que al ser un sitio con un pequeño apartado arenoso y su poca profundidad inicial (fig. 4A), es un lugar muy visitado por gran parte de la población Cozumeleña, así como por turistas que visitan la isla. Y por consecuencia se genera una alta actividad antropogénica en esta zona.

## Metodología

### Trabajo de Campo

El análisis de las comunidades de esponjas se llevó a cabo por medio de fototransectos para obtener fotografía de las coberturas de las especies identificadas (Ruíz, 2009; Aguirre, 2012). Mediante buceo autónomo libre y equipo de snorkel, se realizó la colecta de datos (fig. 5) y se fotografió un cuadrante de 1 m x 1 m, las fotografías tendrán una distancia de 1 metro con respecto al substrato de donde se posicionará el cuadrante, esto con la finalidad de abarcar toda el área del cuadrante mediante una sola fotografía (Aguirre, 2012).

Para obtener una mejor determinación de la cobertura de las poblaciones de poríferos, el cuadrante está cuadrículado a distancias de 20 cm para un mejor análisis (Núñez Flores *et al.* 2010). Las profundidades en que se colocarán los cuadrantes fueron de 1.5 metros y 3 metros de profundidad, en total se tomarán datos de 3 puntos por cada sitio de muestreo, donde los cuadrantes se encontraron en la misma columna de agua, pero en distintas profundidades con un total de seis transectos para cada zona.

## Figura 5

### *Formato de Etiquetado.*

ID:
Nombre de la playa:
Transecto num:
Profundidad:
Color <i>in situ</i> :
Nombre del Colector:
Fecha:

Figura 1. Formato de etiquetado implementado. Elaboración propia.

La colecta de material biológico se efectuó con ayuda de un cúter, realizando un pequeño corte al organismo no mayor a los 4 x 4 cm. Posteriormente se colocó en una bolsa ziploc con un poco de agua de mar. Todas las bolsas se encontraron rotuladas con el ID, nombre de la playa, número de transecto, profundidad, color *in situ*, nombre del colector y fecha (fig. 5). Luego el material colectado se colocó en una hielera para su transporte al laboratorio (Schoch, 2013; Ariza Pérez, 2017 y Vargas, 2019).

## Cobertura

Para este apartado se trabajó con las imágenes obtenidas de los transectos de 1m<sup>2</sup> por medio de una cámara deportiva GoPro Hero 7 Silver.

Sin embargo, antes de cualquier procesamiento de las imágenes, se crearon códigos con los nombres de las especies y una referencia fotográfica obtenida de diversos catálogos (Maas-Vargas y Bahena Basave, 2008; Vega, 2012; Carballo *et al.* 2014; Ugalde *et al.* 2015 y Vargas, 2019), luego estos códigos se insertarán al programa Coral Point Count with Excel extensions (CPCe V4.1) y posteriormente se insertaron las imágenes en el programa. Por medio del apartado de medición, una vez insertada la fotografía se calibrará la imagen para obtener un área total de 1m<sup>2</sup>.

Una vez calibrada la imagen se procedió a realizar el análisis del área y longitud, delimitando el área de las diversas especies de esponjas, una vez concluido este proceso se le asignó el

nombre de la especie representada y los resultados obtenidos del análisis fueron usados para realizar una base de datos con el programa Excel para la obtención de la cobertura total (Ruíz, 2009).

### **Análisis de diversidad**

Una vez obtenidos los datos poblacionales, se procedió a realizar una base de datos sobre las especies de esponjas colectadas en campo, después se procederá a adquirir la abundancia absoluta. Luego con los datos de cobertura poblacional y los datos de abundancia absoluta se procedió a la obtención de la abundancia relativa.

A partir de todos estos datos se realizó el análisis de diversidad por medio del índice de Simpson y el índice Shannon y Weaner (Pla, 2006).

### **Índice de Simpson**

Este índice de dominancia, formula la probabilidad de sacar de una comunidad; dos individuos al azar y que estos sean de la misma especie. Siendo una medida de dominancia de especies comunes o dominantes con respecto a especies raras. Oscilando entre 0 y 1. Obteniendo valor de cero cuando únicamente se encuentre una sola especie o se tenga con diversidad infinita y donde el valor de 1 significa que no hay diversidad (Moreno, 2001; Ferriol Molina y Merle Farinós, 2012).

### **Figura 6**

*Índice de Simpson.*

$$D = \sum (n/N)^2$$

Dónde:

$D$ : Índice de Simpson;

$n$ : Cobertura total por especie (densidad poblacional); y

$N$ : cobertura total de todas las especies (abundancia absoluta).

### Índice de Shannon y Weaner

El índice de Shannon-Weaner refleja la heterogeneidad de una comunidad, asociada a la selección aleatoria de un individuo. En donde, si llegara a haber una especie más dominante que las restantes apenas presentes el grado de incertidumbre será más bajo (el valor de H), que si todas las especies fueran igualmente abundantes (Pla, 2006).

Dónde:

#### Figura 7

*Índice de Shannon-Weaner.*

$$H = - \sum ni * \ln(ni)$$

*H*: Índice de Shannon-Waerner;

*ni*: abundancia relativa; y

*Ln*: Logaritmo natural.

Una vez obtenido los índices de Shannon y Simpson por cada transecto en los distintos niveles de profundidad se procedió a realizar la gráfica de las variaciones de los índices de diversidad. Así como su posterior análisis.

### Índice de contaminación.

Por medio del número de individuos de cada especie indicadora con respecto al total de individuos de especies de esponjas en el sitio de muestreo, se calculó la abundancia relativa porcentual. El índice de contaminación se fundamenta en la sumatoria de los porcentajes de abundancia relativa de especies indicadoras de contaminación, así como también del porcentaje de cubrimiento relativo obtenidos del análisis de cobertura. Después de obtener los datos de abundancias y cubrimiento relativos, se genera una gráfica de los datos para discriminar las zonas de muestreos, hipotetizando que en los sitios más cercanos al área urbana se encuentren los índices más elevados (De la Nuez Hernández, 2011; Busutil y Alcolado, 2012 y López, 2013).

Sin embargo, también se esperó la presencia de especies indicadoras de zonas no contaminadas, y en caso de ser registradas se realizaría el mismo procedimiento para el índice de contaminación.

### **Identificación de especies mediante análisis de material biológico.**

Para la identificación de las especies presentes en los sitios muestreados se llevó a cabo tres tipos de métodos: 1) la observación directa del organismo, 2) la observación de sus microestructuras morfológicas, con microscopía de luz y con fundamento en catálogos y/o artículos científicos de especialistas y guías especializadas de la región (por ejemplo, de Maas-Vargas y Bahena Basave, 2008; Vega, 2012; Carballo *et al.* 2014; Ugalde *et al.* 2015 y Vargas, 2019), y 3) con la obtención de las secuencias del Gen COI de las especies en que esto sea posible.

### **Conservación de muestras.**

Para la conservación de muestras a fin de obtener los análisis genéticos, el material colectado se llevó al Lab. Ecología y Taxonomía del zooplancton, donde cada muestra se manipuló con una pinza no acerrada para evitar su contaminación. Seguidamente los organismos se volvieron a fotografiar en el laboratorio y con ayuda de agua destilada se procedió a eliminar restos de sedimentos o cualquier organismo afiliado al pinacodermo. A continuación, se procedió a secar el exceso de agua o mucosidad de la muestra con un paño absorbente (González y Arenas-Castro, 2017).

Después con ayuda de un bisturí se realizó un corte transversal del organismo tomando una muestra de la parte interior, luego se procedió a insertar un fragmento de la muestra en placas eppendorf (con capacidad para albergar hasta 96 muestras) (Ariza Pérez, 2017).

Finalmente, se le adiciono el buffer de preservación (etanol al 96% - 100%) acorde con Erpenbeck *et al.* (2007) procurando cubrir todo el tejido. Una vez terminado todo este proceso las muestras fueron almacenadas en refrigeración entre -20 °C y -80 °C después de 12 a 24 horas realizar el cambio del buffer. Para el análisis de ADN es necesario con 0.25 g de muestra de cada esponja (Ariza Pérez, 2017; González y Arenas-Castro, 2017). Cada uno de los criotubos de la

placa, se etiqueto debidamente para tener un orden en el procesamiento de las muestras como se presentó más adelante.

### **Análisis de espículas**

Este tipo de análisis parte de la obtención de las espículas mediante montaje de espículas permanentes y su observación en microscopio. La obtención de las espículas se llevará a en la Universidad de Quintana Roo. Se tomó parte del material biológico y se depositó en vaso de precipitado y posteriormente se le agregó ácido nítrico hasta cubrir la muestra. Seguidamente se calentó en una parrilla hasta alcanzar el punto de ebullición, en ese momento se retiró el vaso de la parrilla.

Al terminar este proceso se decanta el contenido dejando únicamente el precipitado. Una vez decantado se agregó agua destilada cuidadosamente dejando que sedimente para ser decantado nuevamente.

Al terminar el proceso de decantación se pasará la muestra por distintas concentraciones de alcoholes (70%, 80%, 90% y 96 %). Seguido de esto se coloca la muestra de sedimento en un portaobjetos, extendiendo el sedimento y dejando que se seque a temperatura ambiente (de manera opcional se puede agregar una gota de colorante para una mejor visualización en el microscopio) (STUDOCU, 2017). Este puede ser fucsina básica o cualquier otro colorante (Uriz, 1986). De igual forma se dejó secar el colorante. Por último, a la muestra se le agrega una gota de resina y se deja caer lentamente el cubreobjetos sin que se formen burbujas, dejamos que seque bien y se prosigue a la observación por microscopio óptico.

### **Extracción de ADN**

La obtención de la secuencia de ADN se llevó a cabo en el laboratorio de Código de Barras de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal, el protocolo empleado en las esponjas corresponde al llevado a cabo para la clase copépoda del género *Mastigodiatomus* (Gutiérrez-Aguirre *et al.* 2020). Como ya se mencionó cada muestra fue etiquetada con su respectivo ID, de acuerdo con las siguientes abreviaturas del sitio de colecta Playa Caletita (CA),

Playa el Presidente (PR) y Playa el Cozumeleño (CZ), seguidamente del número de transecto 1, 2 o 3 y su nivel de profundidad (1.5 y 3). Ejemplo:

**Tabla 1**

*Ejemplo de Etiquetado para Envío de Muestras para Análisis de ADN.*

ID	SITIO DE COLECTA	TRANSECTO	PROFUNDIDAD	RESULTADO FINAL
1	CA	1	1.5	1CA1-1.5
2	PR	2	1	2PR2-1
3	CZ	3	3	3CZ3-3

*Nota:* Datos para el etiquetado de muestras (Elaboración propia)

### **Técnica de PCR (Reacción en Cadena de Polimerasa)**

Para ampliar la región de nuestro interés del ADN del gen mitocondrial que codifica para la subunidad 1 de la enzima citocromo c oxidasa (COI), para esto se han usado los primers universales de LCO1490 (5'- GGTC AACAAATCATAAAGATATTGG-3' (forward)) y HCO2198 (5'- TAAACTTCAGGGTGACCAAAAATCA3' (reverse)).

En la extracción de ADN, se añadió 2 µl de extracto de ADN a la mezcla de PCR la cual contenía: 2 µl de agua ultrapura HyClone, 6.25 µl de D-(+)-trehalosa dihidrato al 10%, 1.25 µl tampón Platinum Taq 10 ×, 0.625 µl de 50 µM MgCl<sub>2</sub>, 0.0625 µl de 10 µM dNTP, 0.125 µl de cada 10 µM de cebador Zplank y 0.06 ml Platinum Taq (Gutiérrez-Aguirre *et al.* 2020).

Al término de este proceso el producto se lleva al termociclador Mastercycler Pro marca Eppendorf para la secuencia COI, en donde se realizó un primer ciclo a 95°C durante un minuto, seguidamente de 5 ciclos: a 94 °C \* 40 seg; a 45 °C \* 40 seg; y a 72 °C \* 1 min. Posteriormente se realizó 35 ciclos: a 94°C por 40 seg, 51°C por 40 s, 72 °C por un minuto, para finalizar se ciclo una vez más a 72 °C \* 5min. Con el sistema de Electroforesis prefabrico E-Gel de 95 pocillo con gel de agarosa al 2%, se percibieron las secuencias de PCR y las reveladas se eligieron para secuenciar (Gutiérrez-Aguirre *et al.* 2020).

## Resultados

Se identificaron un total de 13 especies agrupadas en nueve Familias, siete Ordenes, tres Subclases y dos Clases, en la Costa Oeste de la Isla Cozumel, tabla 2. A once especies se le realizó el análisis de espículas y se logró la identificación de cinco especies mediante secuencias del gen COI, *Agelas tubulata* (Lehnert y van Soest, 1996), *Aiolochoiria crassa* (Hyatt, 1875), el Genero *Spirastrella* (identificada erróneamente como *Clina*), *Xestospongia muta* (Schmidt, 1870) y *Plakortis angulospiculatus* (Carter, 1879), el cual corroborando los datos se logró identificar como *Chondrilla caribensis* (Rützler, Duran y Piantoni, 2007).

**Tabla 2**

*Lista de Especies Identificadas en la Costa Oeste de Cozumel.*

Especies	Costa Rocosa		
	1	2	3
<b>Fílum: Porífera</b>			
<b>Clase: Demospongiae</b>			
<b>Subclase: Heteroscleromorpha</b>			
<b>Familia Agelasidae</b>			
<i>Agelas tubulata</i> (Lehnert & van Soest, 1996)	-	X	-
<b>Familia Petrosiidae</b>			
<i>Xestospongia muta</i> (Schmidt, 1870)	-	X	-
<b>Familia Niphatidae</b>			
<i>Niphates digitalis</i> (Lamarck 1814)	X	-	-
<i>Amphimedon queenslandica</i> (Hooper & van Soest, 2006)	X	-	-
<b>Familia Spirastrellidae</b>			
<i>Spirastrella</i>	X	X	X
<b>Subclase: Verongimorpha</b>			
<b>Familia Aplysinidae</b>			
<i>Aiolochoiria crassa</i> (Hyatt, 1875)	X	X	X
<i>Verongula rigida</i> (Esper, 1794)	-	X	X
<i>Verongula reisiwigi</i> (Alcolado, 1984)	-	X	-
<b>Familia Chondrillidae</b>			
<i>Chondrilla caribensis</i> (Rützler, Duran & Piantoni, 2007)	-	X	-
<b>Subclase: Keratosa</b>			

<b>Familia Thorectidae</b>			
<i>Smenospongia aurea</i> (Hyatt, 1875)	X	X	X
<b>Familia Irciniidae Gray, 1867</b>			
<i>Ircinia felix</i> (Duchassaing y Michelotti, 1864)	X	X	X
<i>Ircinia strobilina</i> (Lamarck 1816)	X	-	X
<b>Clase: Homoscleromorpha</b>			
<b>Familia Plakinidae</b>			
<i>Plakortis angulospiculatus</i> (Carter, 1879)	-	X	-

**Nota:** Área de estudio 1) Caletita; 2) El Presidente; 3) El Cozumeño. Los avistamientos se señalan con “X”, y la ausencia con “-”.

## Descripción de Especies

### *Chondrilla caribensis* (Rützler, Duran & Piantoni, 2007)

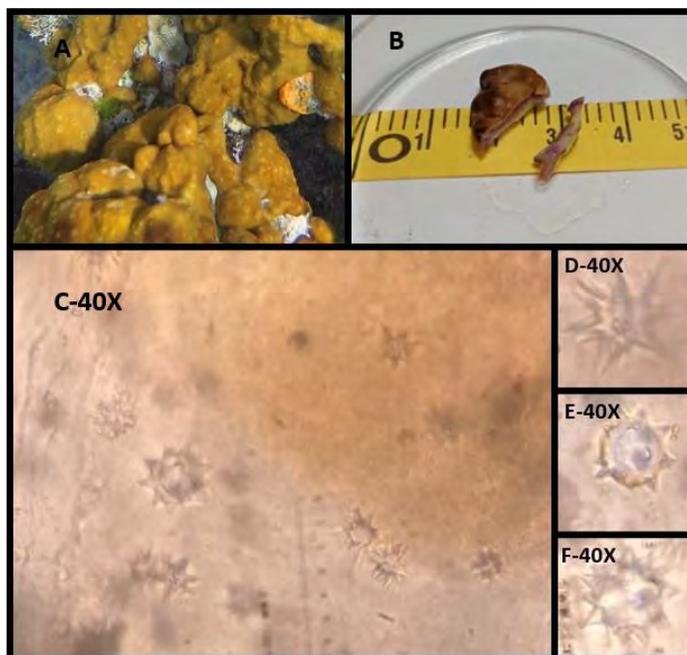
**Morfotipo:** Esponja incrustante con hábitos crípticos, presenta un crecimiento globular o acojinado. Los ósculos se encuentran dispersos sobre toda superficie de la esponja. Superficie lisa y resbaladiza. Con un espesor de 2-4 mm

**Color:** El color *In Situ* es marrón oscuro o crema pálido, tornándose más claro al ir rodeando los ósculos. En etanol la parte interna se torna color beige claro tornándose a morado mientras se acerca al pinacodermo, y generando manchas en color pálido en la superficie del pinacodermo. Colorando el etanol en un color verde.

**Esqueleto:** Esferaster y Oxiaster o esfoxiaster. Esferaster cuenta con espinas secundarias en las puntas de las espinas primarias, con un número medio de 25 espinas primarias, encontrándose en la parte superior.

## Figura 8

*Chondrilla caribensis* (Rützler, Duran & Piantoni, 2007)



**Figura 8.** Muestra al Organismo *In Situ* ubicado en sustrato rocoso (fig. 8A), así como la muestra conservada en etanol (fig. 8B). La dispersión de espículas en el coanosoma (fig. 8C), y las espículas Oxiaster o Esferoxiaster y Esferaster (fig. 8D-F).

**Ecología:** Observado únicamente en la Costa Rocosa “El Presidente” a ambas profundidades, con una densidad poblacional de 1.36%. Se encuentra distribuida sobre coral o roca. **BOLD:** MCM1182-21.

### *Agelas tubulata* (Lehnert & van Soest, 1996)

**Morfotipo** Esponja de tipo tubular en forma de racimos fusionados a los costados surgiendo de una base en común. Presenta pseudosculos apicales, tiene pequeños ósculos que se encuentran dispersos en la pared interna de la aurícula y en la pared externa. La superficie es liza, rugosa al tacto y comprimible, siendo difícil de cortar en campo.

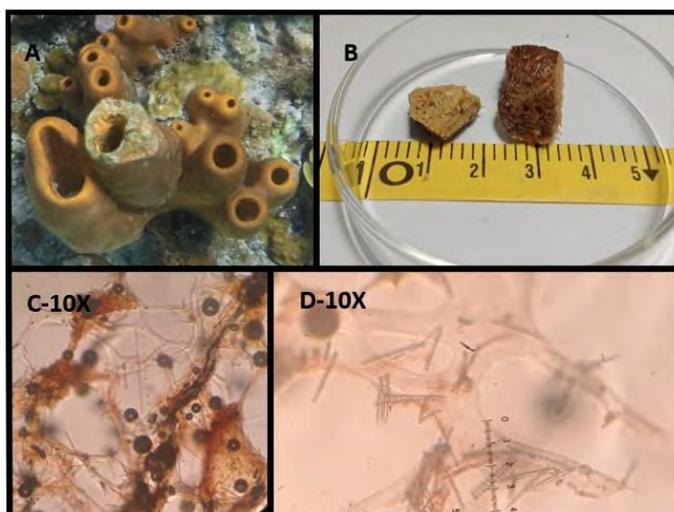
**Color:** Amarillo anaranjado a marrón claro en el exterior y anaranjado en la parte interior. En etanol conserva el color marrón, tornándose color crema en el ectosoma. El etanol se colorea a naranja pálido.

**Esqueleto:** Acantostilas con 13-27 hileras de espinas. Presenta fibras hacia distintas direcciones, con un núcleo de 5 a 6 acantostilas y fibras secundarias más delgadas hacia la superficie.

**Figura 9.** Muestra al organismo *In Situ* en sustrato rocoso (fig. 9A) y conservada en etanol (fig. 9B). También se ilustra la dispersión de las fibras de espongina (fig. 9C) y la distribución de las acantostilas en las fibras (fig. 9D).

### Figura 9

*Agelas tubulata* (Lehnert & van Soest, 1996)



**Ecología:** El registro se realizó en la Costa Rocosa “El Presidente” en ambas profundidades, su densidad poblacional es de 0.84%. Asentada sobre sustrato rocoso. Se obtuvo la secuencia de 2 especímenes. BOLD: MCM1109-21; MCM1169-21.

### *Aiolochoira crassa* (Hyatt, 1875)

**Morfotipo:** Esponja masivo a lobular, presenta ósculos dispersos sobre las superficies lobulares y tiene una superficie conulosa irregular por donde sobresalen las fibras con pequeños espacios entre cada conulo, las crestas que interconectan los canulos forman pequeñas depresiones poligonales, teniendo una consistencia firme y siendo fácil de cortar.

**Color:** En el estudio se encontró tres colores distintos, amarillenta con purpura con dominancia de color purpura, otra amarillenta tornándose a un color marrón rojizo y una tercera amarilla dorado claro. Esta especie puede tener una gran variedad de colores amarillo dorado,

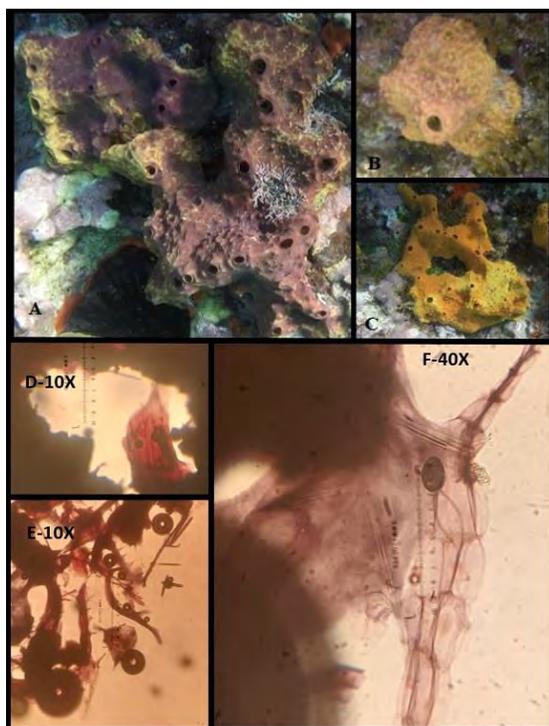
naranja amarillento, salmón, rosa, rojo carmín o morado oscuro, la mayoría de las veces son mezclas de distintos colores en diversas áreas (Wiedenmayer, F., 1977). Al conservarse en etanol se torna a un color morado negro, coloreando el etanol al principio en un color morado oscuro, después de varios cambios de etanol se pigmentaba a un color marrón amarillento.

**Esqueleto:** En la literatura no mencionan la presencia de espícula, sin embargo, en este caso de logro observa en las fibras, el coanosoma se encuentra formado por fibras de esponjina ramificadas en un patrón dendrítico, las fibras pueden dividirse en primarias con una medula y fibras secundarias.

**La figura 10.** Muestra las diversas mezclas que se presenciaron, la mezcla purpura con amarillo 10PR (fig. 10A), mezcla amarillenta y marron rojiso (fig. 9B) y amarillo dorado (fig. 9C), todos los organismo se encontraron sobre sustrato rocoso. Se logra la observacion de espiculas (fig. 9D), fibra de esponjina primarias (fig. 9E) y fibras secundarias (fig. 9F).

### Figura 10

*Aiolochoiria crassa* (Hyatt, 1875)



**Ecología:** Esta especie tuvo presencia en los tres sitios muestreados, se encontró en ambas profundidades estudiadas. Su densidad poblacional fue de 8.33% asentada sobre sustrato rocoso. El espécimen de color morado se observó en los tres sitios, mientras que el espécimen naranja se

observó en Caletita y el espécimen amarillo en El Presidente. La secuencia COI se obtuvo del espécimen morado con amarillo. BOLD: MCM1085-21

***Smenospongia aurea* (Hyatt, 1875)**

**Morfotipo:** Ramificado con hábitos crípticos, las ramas son cilíndricas, compuestas por masas de forma irregular de tubos cónicos o volcanes en donde se encuentran los ósculos, los ósculos a menudo se encuentran alineados longitudinalmente, la superficie es finamente canulosa.

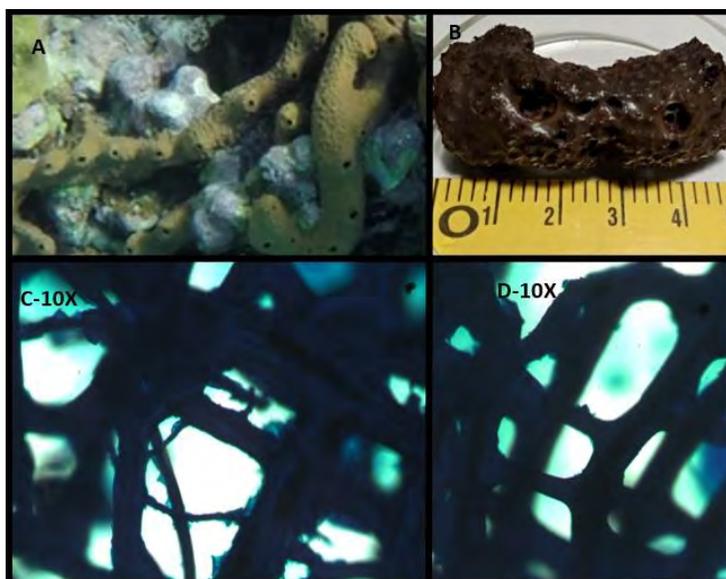
**Color:** Se identificó dos colores de esta especie, el primero en color marrón y el segundo color amarillo, en otros individuos suele ser color marrón crema, gris, amarillo o verde. Al permanecer en conserva en etanol el espécimen toma un color gris con pigmentos morados. El etanol se torna verde amarillento.

**Esqueleto:** Fibra de esponjina con reticulación poligonal, no cuenta con medula.

**Figura 11.** Ilustra al organismo *In Situ* sobre sustrato rocoso (fig. 11A), así como en conserva en etanol (fig. 11B). De igual forma en las figuras 11C y 11D se muestran las fibras de esponjina.

**Figura 11**

*Smenospongia aurea* (Hyatt, 1875)



**Ecología:** Se contabilizó en las tres localidades, en ambas profundidades. La densidad poblacional fue de 0.75%, se desarrolla sobre sustrato rocoso. El espécimen amarillo se localizó en la costa el Cozumeleño y el espécimen color marrón en las costas Caletita y El Presidente.

### ***Verongula rígida* (Esper, 1794)**

**Morfotipo:** Esponja masiva a tubular-lobular, los lóbulos se forman en tubos, cada lóbulo tiene un ósculo apical con diafragmas perforados, los ósculos se encuentran definidos con los bordes lisos en la parte superior, cuenta con cresta laminares o canulosa. Consistencia comprensible y firme, áspera al tacto.

**Color:** En diversos especímenes el color suele ser amarillo, amarillo verdoso o verde vino.

**Esqueleto:** Reticulación con mallas alargadas-poligonales, cuenta con medula.

**Figura 12.** Muestra al organismo *In Situ* en un tono verdoso sobre sustrato rocoso.

#### **Figura 12**

#### ***Verongula rígida* (Esper, 1794)**



**Ecología:** La especie fue observada en la costa rocosa El Presidente y El Cozumeleño, a una profundidad de 0-1m. Su densidad poblacional fue de 4.15%. Esta especie se encuentra incrustada en la mayoría de las ocasiones sobre el sustrato rocoso.

***Verongula reiswigi* (Alcolado, 1984)**

**Morfotipo:** Tubular o forma de jarrón subesferico, con ósculos apicales, los tubos crecen a partir de una base en común. La superficie cuenta con crestas proyectadas paralelas o curvados y onduladas irregularmente, formando sistemas de depresiones

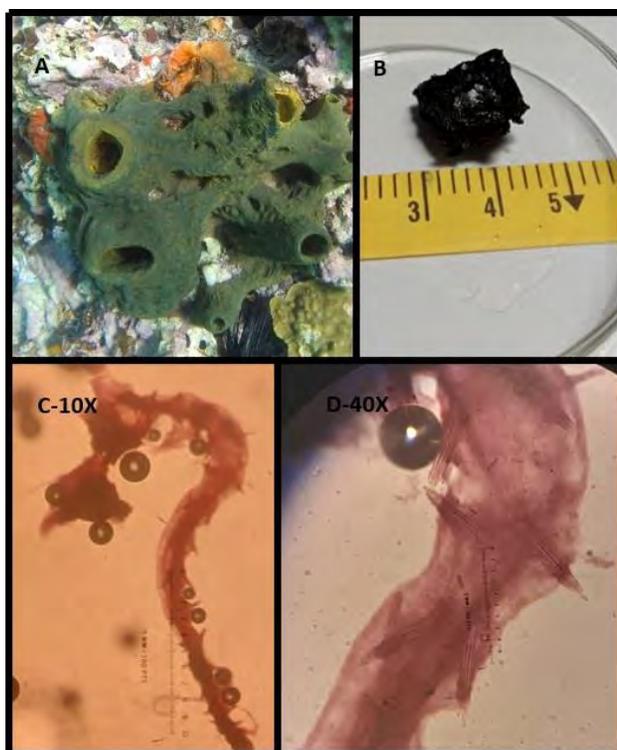
**Color:** Verde con manchas amarillas y azules en la parte exterior, en la parte interior el color es amarillo limón. Conservado en etanol adquiere un color negro, el etanol se pigmento en un color marrón amarillento.

**Esqueleto:** Fibras huecas y granuladas interiormente, con una estructura prismática.

**Figura 13.** Presenta al organismo *In Situ* sobre sustrato rocoso (fig. 13A), así como preservado en etanol (fig. 13B). Fibra de espongina (fig. 13C) y fibra con espinas (posible espícula) (fig. 13D).

**Figura 13**

*Verongula reiswigi* (Alcolado, 1984)



**Ecología:** Se tuvo registro únicamente en la costa rocosa el Presidente, a una profundidad de 2-3m. Su densidad poblacional fue de 0.94% se encontró sobre sustrato rocoso.

***Ircinia felix* (Duchassaing y Michelotti, 1864)**

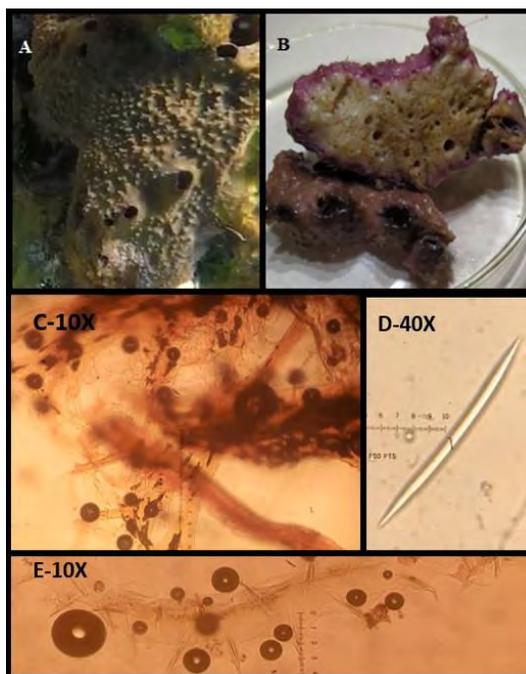
**Morfotipo:** Esponja masiva-amorfo, globular con hábitos incrustantes, proyecciones con terminaciones en ósculos dispersos, los ósculos se encuentran dispersos con membrana, así como pequeños canulos con poca distancia entre sí, tiene una consistencia comprimible y es difícil de cortar.

**Color:** Marrón beige tornándose más oscuro mientras se acerca al ósculo, e incluso purpura negruzco. Los colores varían en marrón vivo, marrón purpura o marrón beige. El color en alcohol se torna a marrón rosado, o gris violáceo, al acercarse al pinacodermo toma un color morado. Mientras el etanol toma un color amarillo verdoso claro.

**Esqueleto:** Fibra de espongina irregulares y pueden contener una carga considerable de granos de arena o restos de espículas en la medula, sin embargo, el material extraño puede estar ausente. Espículas oxeas.

**Figura 14**

*Ircinia felix* (Duchassaing y Michelotti, 1864)



**Figura 14.** Muestra al organismo *In Situ* sobre sustrato roco y sobre la esponja *Verongula rígida* (Esper, 1794) (fig. 14A), también se muestra al organismo conservado en etanol (fig.

14B), se muestra un corte transversal del organismo y la red de espongina (fig. 14C), se observaron espículas Oxeas (fig. 14D), se contemplo una fibra de espongina con dispersión de espículas a lo largo (fig. 14E).

**Ecología:** Se encontró en las tres zonas de estudios a profundidades de 0-1 m y 2-3 m, su densidad poblacional fue de 1.2% se encuentra sobre sustrato rocoso y sobre otras esponjas.

### *Ircinia strobilina* (Lamarck 1816)

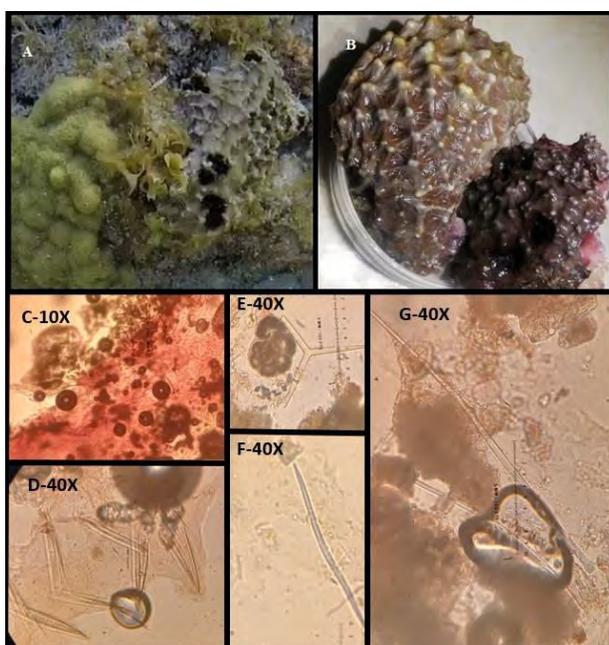
**Morfotipo:** Esponja masivo globular-lobular, los lóbulos generan pequeñas estrellas de las cuales se encuentran conectados. Los ósculos se encuentran en la parte superior sobre una depresión en la cual se agrupan, entre aproximadamente 1-5 mm de diámetro. Cuenta con una consistencia elástica lo cual genera que sea difícil de cortar.

**Color:** Café o marrón al ir llegando a la punta de los lóbulos se tornan más claros y al ir llegando al ósculo se torna más oscuro. En otros especímenes el color puede ser marrón grisáceo oscuro. A diferencia de *I. felix* no presenta coloración en el pinacodermo, esta presenta la coloración morada dentro de los ósculos. El etanol se torna a un color verde fosforescente.

**Esqueleto:** Filamentos de fibras de espongina finamente ramificadas a veces granulada,

### Figura 15

#### *Ircinia strobilina* (Lamarck 1816)



adjunto a material foráneo, de igual forma presenta filamentos de colágeno, presenta espículas oxeas, tilostilos y triactina.

**Figura 15.** Contempla al organismo *In Situ* adherido a sustrato rocoso y sobre una pequeña área de coral (fig. 15A), al igual se observa al organismo conservado en etanol (fig. 15B). Se muestra el corte transversal sobre un lóbulo (fig. 15C) y logramos observar la fibra de esponjina con la distribución de espículas (fig. 15D), entre las espículas observadas se encuentran Triactina (fig. 15E), Oxea (fig. 15F), Tilostilo (fig. 15G)

**Ecología:** Se registro en las playas Caletita y el Cozumeleño, presente en ambas profundidades. La densidad poblacional fue de 0.04%. Se encuentra en sustratos rocosos.

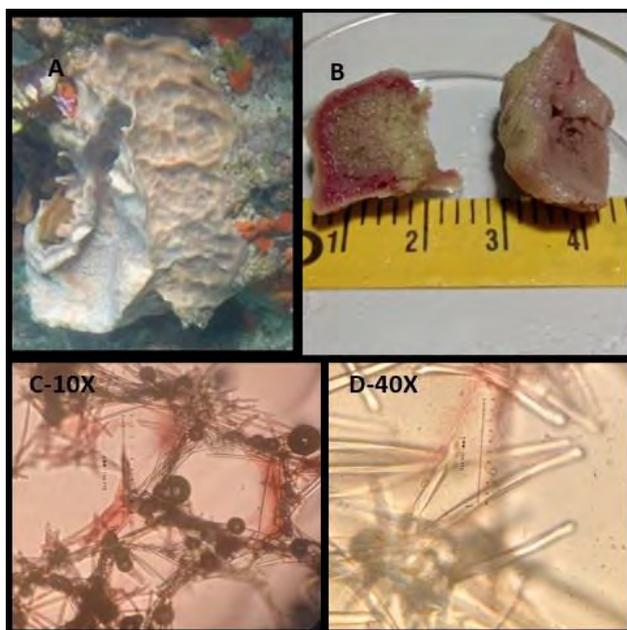
### *Xestospongia muta* (Schmidt, 1870)

**Morfotipo:** Esponja fusiforme de paredes gruesas, semejante a un barril, siendo una de las especies más grande del Caribe, cuenta con una superficie provista de crestas, presenta una gran pseudosculos apical, los ósculos se encuentran dentro del cráter, la superficie el interior es reticulada y rugosa, aunque con un patrón lobulado.

**Color:** Marrón rojizo en la parte externa, dentro de la aurícula se torna a un color purpura o beige pálido, incluso en otros ejemplares se observan tonalidades entre el rosa y el rojo vino.

### **Figura 16**

*Xestospongia muta* (Schmidt, 1870)



Conservado en alcohol toma un color beige. El etanol se torna verde claro.

**Esqueleto:** espículas de tipo estrongilos con extremos ligeramente curvados, iguales y redondeados. Cuenta con fibras densa y reticuladas que forman mallas redondeadas, compuesta con espículas e incluso las mismas espículas aisladas.

**Figura 16.** Observamos al organismo *In Situ* sobre sustrato rocoso (fig. 16A), también se muestra un corte transversal conservado en etanol (fig. 16B), se captó las redes redondeadas compuestas por espículas (fig. 16C), así como las espículas estrongilos (fig. 16D).

**Ecología:** Se identifico en la costa rocosa El Presidente, a una profundidad de 2-3m. Su densidad poblacional fue de 0.07% se desarrolla sobre sustrato rocoso. BOLD: MCM1118-21.

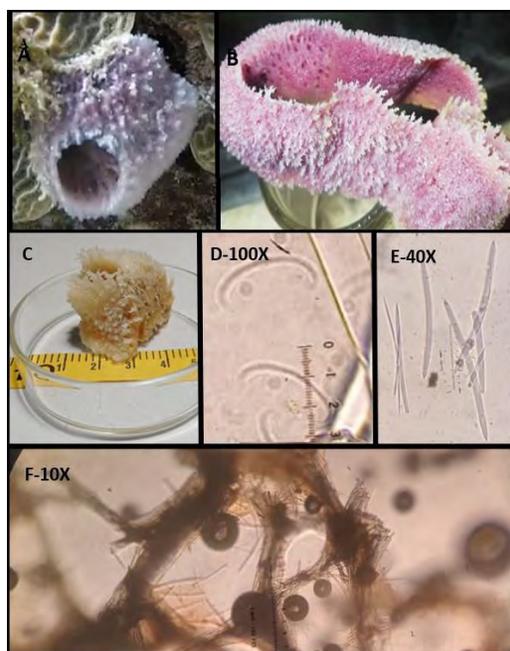
### ***Niphates digitalis* (Lamarck 1814)**

**Morfotipo:** Tipo jarrón o conos aplanado-invertidos. Presenta una pseudosculos acerrado por pequeños filamentos los cuales se encuentran incluso por toda la superficie externa de la esponja como pequeñas espinas rizadas y alveolar, la superficie interior es liza en ella se encuentran los ósculos, su consistencia es rígida, lo que genera que sea fácil de cortar.

**Color:** Malva, puede tener varios tonos de rosados fosforescentes o azul pálido.

### **Figura 17**

*Niphates digitalis* (Lamarck 1814)



Cuando se extrae se torna a un color más pálido. Al conservarse en alcohol se torna blanco.

**Esqueleto:** Espículas de tipo Oxea fusiformes, los cuales forman tractos espiculares, estas fibras forman mallas y sobresalen a la superficie. Las fibras de mayor diámetro forman fascículos longitudinales.

**Figura 17.** Se aprecia al organismo *In Situ* creciendo sobre el coral (fig. 17A) y se logra observar el color que toma después de siete horas de ser colectado (fig. 17B), y después de una semana conservado en etanol (fig. 17C), se aprecia espículas Sigmas (fig. 17D) y Oxeas (fig. 17E), incluso la estructura de la fibra de espongina y distribución de espículas (fig. 15F).

**Ecología:** Se hayo en la costa rocosa Caletita, en ambas profundidades, su densidad poblacional es de 0.18%, se encuentra sobre sustrato duro o incluso sobre coral

#### ***Amphimedon queenslandica* (Hooper & van Soest, 2006)**

**Morfotipo:** Esponja masiva incrustantes. Los ósculos se encuentran la parte superior de los lóbulos, cada ósculo está rodeado por un labio membranoso ligeramente elevado, la superficie es lisa, uniforme y translúcida, pudiendo verse la red de fibra esquelética subyacente la cual es visible a través del ectosoma parcialmente translucido. Siendo de textura comprimible y firme muy resistente.

**Color:** Color azul grisáceo a verde, con un tono más gris alrededor del ósculo. Al preservarse en etanol toma un color gris amarillento a gris.

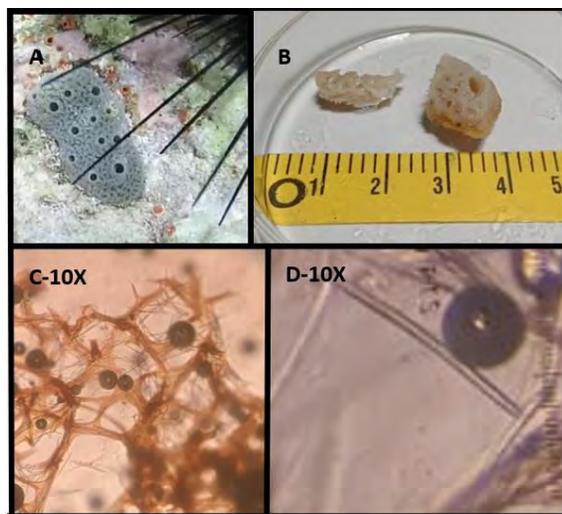
**Esqueleto:** Presencia de meglascleras de tipo oxeas, ligeramente curvadas en el centro con puntas ahusadas o redondeadas. Cuenta con una red de fibras primarias anisotrópicas, contiene tractos espiculares de pequeñas oxeas, las fibras más grandes están interconectadas por tractos espiculares más delgados.

**Figura 18.** Se percibe al organismo *In Situ* sobre sustrato rocoso (fig. 18A), también se observa un fragmento del organismo conservado en etanol (fig. 18B). Se logra observar las fibras primarias y distribución de espículas (fig. 18C), las espículas son Oxea curvado del centro (fig. 18D).

**Ecología:** Se registro en la localidad de Caletita, a una profundidad de 0-1m, su densidad poblacional es de 0.01%, desarrollándose sobre sustrato rocoso.

**Figura 18**

*Amphimedon queenslandica* (Hooper & van Soest, 2006)



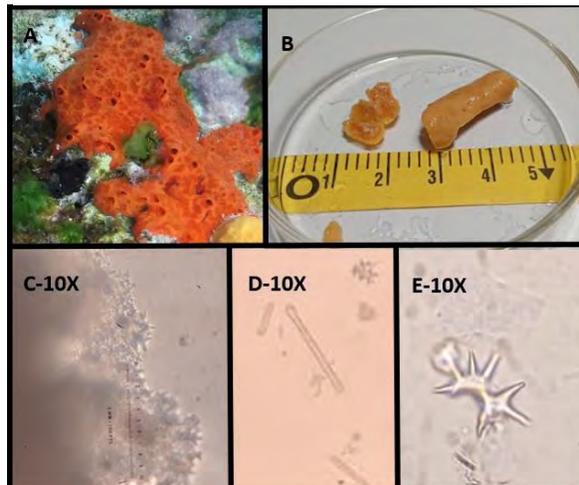
**Genero *Spirastrella***

**Morfotipo:** Esponja incrustante de apenas 3 mm de grosor, cuenta con diversas proyecciones rodeados de un labio membranoso en donde se encuentran los ósculos y siendo posible ver los canales, los ósculos se contraen al grado de cerrarse al introducirlo en etanol, la superficie presenta concavidades creando surcos, así también tiene una textura rígida y fibrosa poco comprimible, al secarse queda como piedra y se deshace.

**Color:** Naranja brillante, al mantenerse en reserva se vuelve rojo pálido casi rosa translucido, tiñendo el alcohol rojo naranja.

**Esqueleto:** Espículas tilostilos rectos con un ápice y espirasteres.

**Figura 19.** Muestra al organismo *In Situ* sobre sustrato rocoso (fig. 19A), además se aprecia al espécimen en etanol (fig. 19B). El corte transversal muestra la agrupación de las espículas (fig. 19C), las espículas presentes son Tilostilo con ápice en un extremo (fig. 19D) y Espirasteres (fig. 19E).

**Figura 19**Genero *Spirastrella*

**Ecología:** Se encontró en los tres sitios muestreados, a ambas profundidades. La mayor cobertura la obtuvo en la Costa El presidente. Su densidad poblacional es de 2.1%, se desarrolla sobre sustrato rocoso.

***Plakortis angulospiculatus* (Carter, 1879)**

**Morfotipo:** Plano convexo o elíptico con hábitos incrustantes. La superficie es liza con hoyuelos uniforme, ósculos conspicuos a ras de la superficie y retraídos en etanol. La consistencia es comprimible y fácil de rasgar.

**Color:** Marrón claro con parches marrón oscuro o verdoso, en ocasiones con puntos blancos, marrón claro o crema, en la parte interna es de marrón más claro, al acercarse al pinacodermo se torna purpura.

**Esqueleto:** Espículas diodos curvos o casi rectos en la mayoría con bordes afilados y centro doblado irregularmente, así como triodos irregulares de forma variable, empaquetadas densamente sin orientación.

**Figura 20.** Muestra únicamente al organismo *In Situ* sobre sustrato rocoso.

**Figura 20**

*Plakortis angulospiculatus* (Carter, 1879)



**Ecología:** Esta especie tuvo un único registro en la costa El Presidente, registrada a una profundidad de 0-1 m. Con una densidad poblacional de 0.09%, se desarrolla sobre sustrato rocoso.

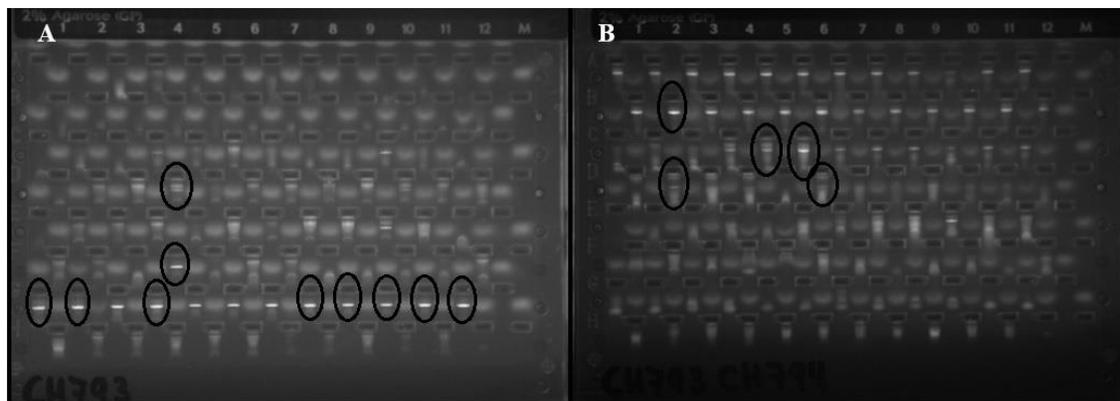
**Análisis de ADN**

El método de la secuenciación del gen COI logró la secuenciación de algunas especies y no de todas las observadas en los puntos de estudio del sitio “El Presidente”. Secuenciando el gen Citocromo Oxidasa 1 (COI) de 15 pozos de 176 muestras enviadas en las placas ependorff (figura 14), las secuencias obtenidas pertenecen a cinco especies distintas de seis individuos colectados únicamente en el muestreo de la costa rocosa “El Presidente”.

Para la identificación de las especies a través del análisis BLAST (Tabla 3), se tomaron en cuenta únicamente los datos de los organismos que han sido identificados hasta nivel de especie, procurando que las secuencias sujeto tengan el mínimo o nulos espacios o huecos (Gaps), dentro de la región analizada por el programa, tal y como se muestra en la figura 22.

### Figura 21

Foto de gel del corrido de PCR.



Nota. Ejemplo en las secuencias *Verongula reiswigi* (MH297453.1) con la secuencia de la muestra 10PR.

Además, se tomó en cuenta que el porcentaje de identidad sea lo más cercano a 100%, de aquellas secuencias propuestas por el Programa identificando las posiciones de inicio y final de las alineaciones de las pb para descartar especies. La figura 23 muestra el ejemplo de una especie analizada con un porcentaje de identidad al 99%.

### Figura 22

Ejemplo de espacio o GAPS.

```

Query  499  TTATTTGTTTGATCCATTTTATTAACAACAATATTATTA  537
      |||
Sbjct  481  TTATTTGTTTGATCCATTTTATTAACAACAATATT-TTA  518
  
```

### Tabla 3

Análisis BLAST del gen COI de Muestras Secuenciadas de la Costa Rocosa "El Presidente".

Análisis BLAST									
ID.C	ID de muestra	ID de secuencia	Pb	Especie (NCBI)	Score (bits)	Gaps	Identities	Excp	Q/S
21PR	CH793-F04	MCM1109-21	639	<i>Agelas conifera</i> ( <a href="#">DQ0075712.1</a> )	1181 (639)	0/639	639/639 (100%)	0.0	1-639 / 1-639
				<i>Agelas tubulata</i> ( <a href="#">MH297442.1</a> )	1133 (613)	0/613	613/613 (100%)	0.0	10-622 / 1-613
				<i>Agelas tubulata</i> ( <a href="#">MH297441.1</a> )	1116 (604)	0/604	604/604 (100%)	0.0	19-622 / 1-604
07PR	CH794-C05	MCM1169-21	639	<i>Agelas conifera</i> ( <a href="#">DQ0075712.1</a> )	1181 (639)	0/639	639/639 (100%)	0.0	1-639 / 1-639

	CH794-C06	MCM1170-21	639	<i>Agelas tubulata</i> ( <u>MH297442.1</u> )	1133 (613)	0/613	613/613 (100%)	0.0	10-622 / 1-613
				<i>Agelas tubulata</i> ( <u>MH297441.1</u> )	1116 (604)	0/604	604/604 (100%)	0.0	19-622 / 1-604
10PR	CH793-D04	MCM1085-21	650	<i>Verongula reiswigi</i> ( <u>KT921334.1</u> )	1181 (639)	0/648	645/648 (99%)	0.0	1-648 / 2-649
				<i>Verongula gigantea</i> ( <u>AM076984.1</u> )	1170 (633)	0/648	643/648 (99%)	0.0	1-648 / 1-648
				<i>Verongula gigantea</i> ( <u>MH297452.1</u> )	1105 (598)	0/613	608/613 (99%)	0.0	19-631 / 1-613
				<i>Verongula gigantea</i> ( <u>MH297451.1</u> )	1105 (598)	0/613	608/613 (99%)	0.0	19-631 / 1-613
				<i>Verongula reiswigi</i> ( <u>EF519691.1</u> )	1062 (575)	0/584	581/584 (99%)	0.0	34-617 / 1-584
				<i>Verongula rigida</i> ( <u>EF519695.1</u> )	1048 (567)	0/584	578/584 (99%)	0.0	34-617 / 1-584
12PR	CH793-G01	MCM1118-21	650	<i>Xestospongia testudinaria</i> ( <u>HQ452961.1</u> )	1201 (650)	0/650	650/650 (100%)	0.0	1-650 / 12-661
	CH793-G02	MCM1119-21	650	<i>Xestospongia testudinaria</i> ( <u>HQ452959.1</u> )	1201 (650)	0/650	650/650 (100%)	0.0	1-650 / 12-661
	CH793-G04	MCM1121-21	650	<i>Xestospongia muta</i> ( <u>HQ452958.1</u> )	1201 (650)	0/650	650/650 (100%)	0.0	1-650 / 12-661
	CH793-G08	MCM1125-21	650	<i>Xestospongia muta</i> ( <u>HQ452957.1</u> )	1201 (650)	0/650	650/650 (100%)	0.0	1-650 / 12-661
	CH793-G09	MCM1126-21	650	<i>Xestospongia proxima</i> ( <u>AM076980.1</u> )	1201 (650)	0/650	650/650 (100%)	0.0	1-650 / 1-650
	CH793-G10	MCM1127-21	650	<i>Xestospongia muta</i> ( <u>MZ487624.1</u> )	1197 (648)	0/648	648/648 (100%)	0.0	3-650 / 1-648
	CH793-G11	MCM1128-21	650	<i>Xestospongia muta</i> ( <u>MH285814.1</u> )	1160 (628)	0/628	628/628 (100%)	0.0	23-650 / 1-628
	CH793-G12	MCM1129-21	650	<i>Xestospongia muta</i> ( <u>MH297454.1</u> )	1133 (613)	0/613	613/613 (100%)	0.0	19-631 / 1-613
				<i>Xestospongia muta</i> ( <u>MZ486595.1</u> )	1118 (605)	0/605	605/605 (100%)	0.0	17-621 / 1-605
20PR	CH794-B02	MCM1154-21	650	<i>Neopetrosia exigua</i> ( <u>MK833935.1</u> )	1146 (620)	0/647	638/647 (99%)	0.0	1-647 / 2-648
16PR	CH794-D06	MCM1182-21	619	<i>Chondrilla caribensis</i> ( <u>MZ487553.1</u> )	1099 (595)	0/616	609/616 (99%)	0.0	1-616 / 4-619
	CH794-D02	MCM1178-21	619	<i>Chondrilla núcua</i> ( <u>AJ843887.1</u> )	1099 (595)	0/616	609/616 (99%)	0.0	1-616 / 1-616
				<i>Chondrilla caribensis</i> ( <u>MZ486763.1</u> )	1094 (592)	0/616	608/616 (99%)	0.0	1-616 / 3-618
				<i>Chondrilla núcua</i> ( <u>EF519593.1</u> )	1051 (569)	0/584	579/584 (99%)	0.0	31-614 / 1-584
				<i>Chondrilla australiensis</i> ( <u>JX999064.1</u> )	1037 (561)	0/600	587/600 (98%)	0.0	17-616 / 1-600

Nota: ID de Campo (ID.C.): 21PR= *Agelas tubulata*, 07PR= *Agelas tubulata*, 10PR= *Aiolochoira crassa*, 12PR= *Xestospongia muta*, 20PR= Genero *Spirastrella* (*Cliona* sp), 16PR= *Plakortis angulospiculatus*. PB (Pares de bases), Q (Especie consultada) / S (Sujeto).

Las secuencias obtenidas de las muestras 21PR y 07PR nos indican dos posibles especies: *Agelas conifera* y *A. tubulata*. Ambas con un 100% de identidad en donde la diferencia se da en los números de pares de bases alineados. La muestra 21PR se secuencio una única vez, en tanto que la muestra 07PR se logró secuencias dos veces. Todas con un total de 639 pb conseguidas.

La muestra 10PR arrojó cinco posibles candidatos de la especie: *Verongula reiswigi*, *Verongula gigantea*, *Amphimedon compressa*, *Verongula rigida*, e *Ircinia campana*. Todas con

un 99% de identidad en todos los sujetos analizados. Y la diferencia radica en la cantidad de bp analizados. De la muestra solo se logró obtener una secuencia, con un total de 650 pb. La secuencia obtenida de *Verongula reisiwigi* (MH297453.1) fue la única que presentó un Gap de entre todas las analizadas, tal como se muestra en la figura 15, por lo cual no se tomó en cuenta.

En el caso de la muestra 12PR identificado como *Xestospongia muta* (Schmidt, 1870) se secuenciaron ocho pozos, siendo la muestra que más secuencias obtuvo, con 650 pb cada uno, todas las secuencias coincidieron con todos los sujetos analizados con porcentajes del 100% de identidad. Los aspirantes a la posible especie fueron: *Xestospongia testudinaria*, *Xestospongia muta* (Schmidt, 1870), y *Xestospongia proxima*. Al igual que las muestras anteriores solo se tuvo diferencia en los números de bits.

En cuanto a la muestra 20PR perteneciente a la especie identificada con el Género *Spirastrella*, solo se extrajo una secuencia con un total de 650 pb, esta secuencia se logró emparejar con una única especie debido a la falta de información existente en la base de datos, la única especie con la cual se emparejó fue: *Neopetrosia exigua* (MK833935.1), con un 99% de identidad. La especie sujeto actualmente se encuentra aceptado como *Neopetrosia chaliniformis* (Thiele, 1899). Sin embargo, aún queda dudas sobre este espécimen debido a que los datos de espículas muestran la pertenencia a otro género. En el caso de la muestra 16PR identificado como *Plakortis angulospiculatus* (Carter, 1879), la plataforma de BOLDsystems nos hace mención sobre la sospecha de contaminación o identificación errónea de especie consultada, sin embargo, las secuencias recabadas se analizaron del mismo modo que las demás, las dos secuencias adquiridas cuentan con un total de 619 pb. Estas lograron tres posibles candidatos: *Chondrilla caribensis*, *Chondrilla núcula*, y *Chondrilla australiensis*. Con porcentajes de identidad de 99% a 5 sujetos analizados y un 98% de identidad con un sujeto analizado identificado como *Chondrilla australiensis*

### Figura 23

*Diferencia en el Porcentaje de Identidad.*

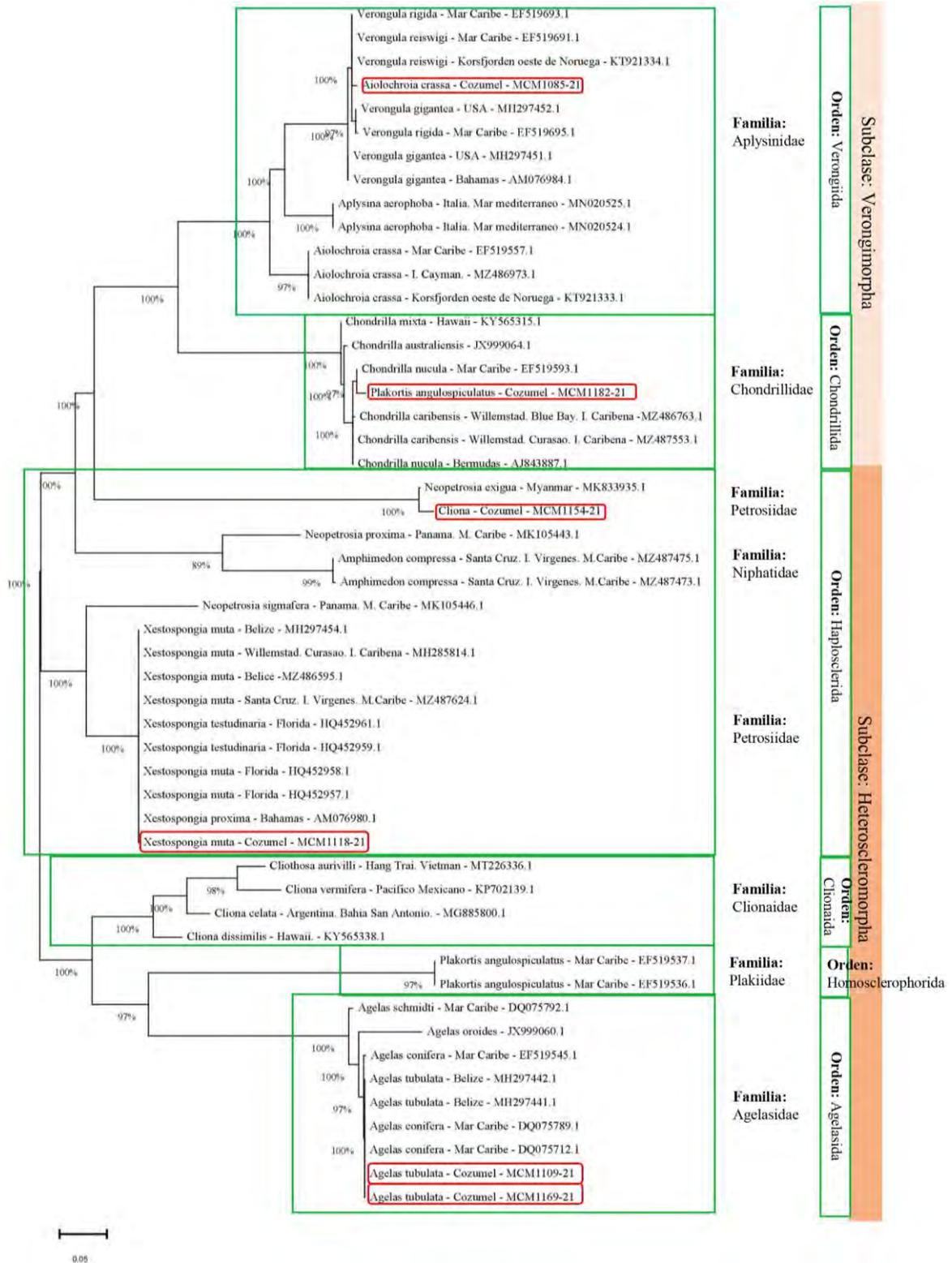
**Chondrilla caribensis voucher CU083 cytochrome c oxidase subunit I (COX1)**  
 Sequence ID: [MZ487553.1](#) Length: 668 Number of Matches: 1

Range 1: 4 to 619 [GenBank](#) [Graphics](#) [Next Match](#) [Close](#)

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
1105 bits(598)	0.0	610/616(99%)	0/616(0%)	Plus/Plus
Query 1	CTTTATTTAGTTTTGGTGCTTTTGCAGGAATGATCGGTA	CTTTATTTAGTTTTGGTGCTTTTGCAGGAATGATCGGTA	CTTTATTTAGTTTTGGTGCTTTTGCAGGAATGATCGGTA	60
Sbjct 4	CTTTATTTAGTTTTGGTGCTTTTGCAGGAATGATCGGTA	CTTTATTTAGTTTTGGTGCTTTTGCAGGAATGATCGGTA	CTTTATTTAGTTTTGGTGCTTTTGCAGGAATGATCGGTA	63
Query 61	AGATTAGAATTATCTGCACCTGGTTCTATGTTAGGGGATGATCATCTGTATAATGTAATA	AGATTAGAATTATCTGCACCTGGTTCTATGTTAGGGGATGATCATCTGTATAATGTAATA	AGATTAGAATTATCTGCACCTGGTTCTATGTTAGGGGATGATCATCTGTATAATGTAATA	120
Sbjct 64	AGATTAGAATTATCTGCACCTGGTTCTATGTTAGGGGATGATCATCTGTATAATGTAATA	AGATTAGAATTATCTGCACCTGGTTCTATGTTAGGGGATGATCATCTGTATAATGTAATA	AGATTAGAATTATCTGCACCTGGTTCTATGTTAGGGGATGATCATCTGTATAATGTAATA	123
Query 121	GTGACAGCACATGCATTTGTTATGATAATTTTTTTAGTTATGCCCGTGATGATCGGGGGG	GTGACAGCACATGCATTTGTTATGATAATTTTTTTAGTTATGCCCGTGATGATCGGGGGG	GTGACAGCACATGCATTTGTTATGATAATTTTTTTAGTTATGCCCGTGATGATCGGGGGG	180
Sbjct 124	GTGACAGCACATGCATTTGTTATGATAATTTTTTTAGTTATGCCCGTGATGATCGGGGGG	GTGACAGCACATGCATTTGTTATGATAATTTTTTTAGTTATGCCCGTGATGATCGGGGGG	GTGACAGCACATGCATTTGTTATGATAATTTTTTTAGTTATGCCCGTGATGATCGGGGGG	183
Query 181	TTTGGTAATTGATTAGTTCATTATATATTGGGGCGCCAGATATGGCTTTCCCTCGATTA	TTTGGTAATTGATTAGTTCATTATATATTGGGGCGCCAGATATGGCTTTCCCTCGATTA	TTTGGTAATTGATTAGTTCATTATATATTGGGGCGCCAGATATGGCTTTCCCTCGATTA	240
Sbjct 184	TTTGGTAATTGATTAGTTCATTATATATTGGGGCGCCAGATATGGCTTTCCCTCGATTA	TTTGGTAATTGATTAGTTCATTATATATTGGGGCGCCAGATATGGCTTTCCCTCGATTA	TTTGGTAATTGATTAGTTCATTATATATTGGGGCGCCAGATATGGCTTTCCCTCGATTA	243
Query 241	AATAATATAAGTTTTGGTTGTTACCTCCTGCTTTAACTTTATTATTAGGATCTGCCTTT	AATAATATAAGTTTTGGTTGTTACCTCCTGCTTTAACTTTATTATTAGGATCTGCCTTT	AATAATATAAGTTTTGGTTGTTACCTCCTGCTTTAACTTTATTATTAGGATCTGCCTTT	300
Sbjct 244	AATAATATAAGTTTTGGTTGTTACCTCCTGCTTTAACTTTATTATTAGGATCTGCCTTT	AATAATATAAGTTTTGGTTGTTACCTCCTGCTTTAACTTTATTATTAGGATCTGCCTTT	AATAATATAAGTTTTGGTTGTTACCTCCTGCTTTAACTTTATTATTAGGATCTGCCTTT	303
Query 301	GTAGAACAAGGGGCCGGAACCTGGTTGAACGGTGTATCCGCCATTGGCAGGGATACAGACA	GTAGAACAAGGGGCCGGAACCTGGTTGAACGGTGTATCCGCCATTGGCAGGGATACAGACA	GTAGAACAAGGGGCCGGAACCTGGTTGAACGGTGTATCCGCCATTGGCAGGGATACAGACA	360
Sbjct 304	GTAGAACAAGGGGCCGGAACCTGGTTGAACGGTGTATCCGCCATTGGCAGGGATACAGACA	GTAGAACAAGGGGCCGGAACCTGGTTGAACGGTGTATCCGCCATTGGCAGGGATACAGACA	GTAGAACAAGGGGCCGGAACCTGGTTGAACGGTGTATCCGCCATTGGCAGGGATACAGACA	363
Query 361	CATTCGGGGGGATCTGTCGATATGGCTATATTTAGCTTGCACCTGGCCGGAATTTCTTCA	CATTCGGGGGGATCTGTCGATATGGCTATATTTAGCTTGCACCTGGCCGGAATTTCTTCA	CATTCGGGGGGATCTGTCGATATGGCTATATTTAGCTTGCACCTGGCCGGAATTTCTTCA	420
Sbjct 364	CATTCGGGGGGATCTGTCGATATGGCTATATTTAGCTTGCACCTGGCCGGAATTTCTTCA	CATTCGGGGGGATCTGTCGATATGGCTATATTTAGCTTGCACCTGGCCGGAATTTCTTCA	CATTCGGGGGGATCTGTCGATATGGCTATATTTAGCTTGCACCTGGCCGGAATTTCTTCA	423
Query 421	ATTTTAAGTTCTATGAATTCATAACTACTATTATAAATATGAGAGCTCCAGGTATGACG	ATTTTAAGTTCTATGAATTCATAACTACTATTATAAATATGAGAGCTCCAGGTATGACG	ATTTTAAGTTCTATGAATTCATAACTACTATTATAAATATGAGAGCTCCAGGTATGACG	480
Sbjct 424	ATTTTAAGTTCTATGAATTCATAACTACTATTATAAATATGAGAGCTCCAGGTATGACG	ATTTTAAGTTCTATGAATTCATAACTACTATTATAAATATGAGAGCTCCAGGTATGACG	ATTTTAAGTTCTATGAATTCATAACTACTATTATAAATATGAGAGCTCCAGGTATGACG	483
Query 481	ATGGATCGGCTTCCATTATTTGTATGGTCAATTTAATTACAACAATATTATTATTATTA	ATGGATCGGCTTCCATTATTTGTATGGTCAATTTAATTACAACAATATTATTATTATTA	ATGGATCGGCTTCCATTATTTGTATGGTCAATTTAATTACAACAATATTATTATTATTA	540
Sbjct 484	ATGGATCGGCTTCCATTATTTGTATGGTCAATTTAATTACAACAATATTATTATTATTA	ATGGATCGGCTTCCATTATTTGTATGGTCAATTTAATTACAACAATATTATTATTATTA	ATGGATCGGCTTCCATTATTTGTATGGTCAATTTAATTACAACAATATTATTATTATTA	543
Query 541	TCTTTACCAGTTTTAGCTGGTGCGATAACCATGCTTTTAAACGGATTGTAGGGTCAATACA	TCTTTACCAGTTTTAGCTGGTGCGATAACCATGCTTTTAAACGGATTGTAGGGTCAATACA	TCTTTACCAGTTTTAGCTGGTGCGATAACCATGCTTTTAAACGGATTGTAGGGTCAATACA	600
Sbjct 544	TCTTTACCAGTTTTAGCTGGTGCGATAACCATGCTTTTAAACGGATTGTAGGGTCAATACA	TCTTTACCAGTTTTAGCTGGTGCGATAACCATGCTTTTAAACGGATTGTAGGGTCAATACA	TCTTTACCAGTTTTAGCTGGTGCGATAACCATGCTTTTAAACGGATTGTAGGGTCAATACA	603
Query 601	ACTTTTTTTGATCCAG	ACTTTTTTTGATCCAG	ACTTTTTTTGATCCAG	616
Sbjct 604	ACTTTTTTTGATCCAG	ACTTTTTTTGATCCAG	ACTTTTTTTGATCCAG	619

Nota. Ejemplo de la diferencia en el porcentaje de identidad. Secuencia de la muestra 16PR CH794-D02 con el sujeto Chondrilla núcula ([EF519553.1](#))

Árbol bayesiano del gen COI en Demospongiae.



Nota. Árbol bayesiano del gen COI de seis especies de la Costa Roca el Presidente. Distancia 0.05

La edición de las secuencias se realizó en el programa MEGA11, realizando un alineamiento múltiple de las secuencias con Aling By ClustalW, procediendo a cortar las columnas con espacios vacíos, o donde hubiese celdas con datos no informativos dejando un total de 600 caracteres. La alineación múltiple se exportó en un formato MEGA. Con la alineación se procedió a la construcción del árbol filogenético de Test Maximum Likelihood Tree con un total de 500 réplicas.

Mediante el análisis molecular se logró insertar las seis secuencias de las distintas muestras, posicionando las secuencias en 5 familias distintas pertenecientes a 4 órdenes y 2 subclases, la secuencia de *Aiolochoria crassa* MCM1085-21 ubicó en la familia Aplysinidae, mientras que *Plakortis angulospiculatus* MCM1182-21 se ubicó en la familia Chondrillidae. Nuestro espécimen de *A. crassa* MCM1085-21, se ubicó entre organismos del género *Verongula*, mientras que los organismos adicionales de *A. crassa* obtenidas del Genbank se agruparon un grupo monofilético. El espécimen *P. angulospiculatus* MCM1182-21, se ubicó entre organismos del género *Chondrilla* obtenidas del Mar Caribe, separada completamente del género asignado a través de los caracteres morfológicos externos.

Las secuencias del espécimen del Género *Spirastrella* MCM1154-21, *Xestospongia muta* MCM1118-21, *Agelas tubulata* MCM1109-21 y *Agelas tubulata* MCM1169-2, se agruparon en la subclase Heterocleromorpha, en tres familias. El espécimen del Género *Spirastrella* MCM1154-21 generó un grupo monofilético con un espécimen del género *Neopetrosia*. Sin embargo, los especímenes adicionales del género *Neopetrosia* no formaron un grupo monofilético. El espécimen de *Xestospongia muta* - MCM1118-21, logró generar un grupo monofilético con organismos del género *Xestospongia*. Y las secuencias de los especímenes *Agelas tubulata* MCM1109-21 y *Agelas tubulata* MCM1169-21, formaron un clado monofilético con especímenes del género *Agelas*.

La cladograma del gen COI fue de ayuda para resolver las dudas sobre la ubicación taxonómica de dos especímenes *Plakortis angulospiculatus* MCM1182-21 y el Género *Spirastrella* MCM1154-21, que mediante la identificación a través de su morfología externa los identificamos con dichas especies, sin embargo, el árbol filogenético nos indica que el espécimen que identificamos como *P. angulospiculatus* se encuentra dentro del género *Chondrilla*. Y el espécimen del Género *Spirastrella* MCM1154-21, no se observó dentro de la familia Clionidae

como se espera por sus caracteres morfológicos externos y esqueléticos, agrupándose entre especímenes del género *Neopetrosia*.

## **Biomonitoreo.**

### **Cobertura.**

En este estudio, se tomó como densidad poblacional, el área ocupada por las esponjas, debido a que la mayoría de las especies evaluadas en este estudio presentan la principal característica de ser cripticas. En los casos de las esponjas expuestas se tomó como dato la cobertura de la base.

La riqueza total de la Costa Oeste de la Isla de Cozumel fue de 13 especies, la Costa El Presidente tuvo una riqueza de diez especies, mientras que las Costas Caletita y el Cozumeleño tuvieron una riqueza de siete y seis especies respectivamente.

En la costa rocosa El Presidente, se obtuvo una riqueza total de diez especies de siete transectos, las especies con mayores densidades poblacionales fueron *Aiolochoiria crassa* (Hyatt, 1875) su cobertura fue de 0.84% presente en ambas profundidades, *Verongula rigida* (Esper, 1794) con 3.14 % de cobertura y observada en un único transecto de 0-1 m de profundidad y el Genero *Spiraastrella* presenta una cobertura de 2.08 % en todos los transectos como se muestra en la tabla 4. La especie con menor densidad poblacional fue *Plakortis angulospiculatus* (Carter, 1879), con solo 0.9 %. En este sitio la abundancia absoluta que ocuparon las comunidades de esponjas marinas fue de 17.27%, el resto del espacio es ocupado por diversos organismos e incluso solo la roca desnuda.

**Tabla 4**

*Cobertura de Especies de la Costa Rocosa “El Presidente”.*

Costa Rocosa el presidente.								
Especies	Transectos							D.P
	1 (1m)	2 (3m)	3 (1m)	4 (3m)	5 (1m)	6 (3m)	7 (1m)	
<i>Agelas tubulata</i>	-	1.70 %	-	-	4.18 %	-	-	0.84 %
<i>Aiolochoiria crassa</i>	3.16 %	0.14 %	38.84 %	-	-	-	6.40 %	6.93 %
<i>Smenospongia aurea</i>	-	1.69 %	-	-	-	-	-	0.24 %

<i>Chondrilla caribensis</i>	-	-	-	-	0.05 %	9.48 %	-	1.36 %
Genero <i>Spirastrella</i>	5.16 %	1.11 %	1.99 %	0.14 %	0.23 %	0.74 %	2.16 %	2.08 %
<i>Verongula reiswigi</i>	6.60 %	-	-	-	-	-	-	0.94 %
<i>Ircinia felix</i>	-	-	-	1.03 %	0.59 %	1.43 %	3.59 %	0.95 %
<i>Plakortis angulospiculatus</i>	-	-	-	-	0.62 %	-	-	0.09 %
<i>Verongula rigida</i>	-	-	-	-	-	-	22.01 %	3.14 %
<i>Xestospongia muta</i>	-	-	-	4.89 %	-	-	-	0.70 %
A.A. por Transecto	14.92 %	4.64 %	40.83 %	6.06 %	8.67 %	11.65 %	34.16 %	
Abundancia Absoluta								17.27 %

*Nota:* Esta tabla muestra la cobertura total por transecto de cada especie de la costa Rocosa “El presidente”. La Abundancia Absoluta por transecto, la abundancia absoluta y la densidad poblacional de la localidad.

En la Costa Rocosa del “Cozumeleño” se obtuvo una riqueza de seis especies, en donde la mayor densidad poblacional fue de *Verongula rigida* (Esper, 1794), con una cobertura total de 1.01% teniendo presencia en únicamente un transecto a una profundidad de 1-2 metros. La segunda especie con mayor densidad poblacional fue *Ircinia strobilina* (Lamarck 1816), presentando 0.34% de cobertura total, sin embargo, esta especie se encontró en al menos 3 cuadrantes. La tercera especie con mayor porcentaje de densidad poblacional es *Smenospongia aurea* (Hyatt, 1875) con 0.16% de cobertura. En esta zona la abundancia absoluta total de las comunidades fue de 1.62% tabla 5.

**Tabla 5**

*Cobertura de Especies de la Costa Rocosa “El Cozumeleño”.*

Costa Rocosa el Cozumeleño							
Transectos							
Especies	1	2	3	4	5	6	D.P
<i>Aiolochoiria crassa</i>	0.17 %	-	-	-	-	-	0.03 %
<i>Smenospongia aurea</i>	0.97 %	-	-	-	-	-	0.16 %
<i>Ircinia strobilina</i>	0.28 %	0.36 %	-	1.54 %	-	-	0.36 %
Género <i>Spirastrella</i>	-	-	0.06 %	-	-	-	0.01 %

<i>Ircinia felix</i>	-	0.32 %	-	-	-	-	0.05 %
<i>Verongula rigida</i>	-	-	-	-	6.04 %	-	1.01 %
A.A. por Transecto	1.42 %	0.68 %	0.06 %	1.54 %	6.04 %	0 %	
Abundancia Absoluta							1.62 %

*Nota:* La tabla muestra los datos de la cobertura total por especie en la costa el Cozumeleño. Abundancia absoluta por transecto, Abundancia Absoluta y la Densidad Poblacional del área de estudio.

La costa “Caletita” presentó una riqueza de siete especies, las especies con las mayores densidades poblacionales son *Aiolochoxia crassa* (Hyatt, 1875) cobertura de 1.368%, *Smenospongia aurea* (Hyatt, 1875) con una cobertura de 0.351% y *Ircinia felix* (Duchassaing y Michelotti, 1864) y su cobertura de 0.198%. Las especies con menor presencia fueron *Amphimedon queenslandica* (Hooper & van Soest, 2006) y el género *Spirastrella*, ambas con 0.010% de cobertura. La abundancia absoluta de la zona fue de 2.17%.

**Tabla 6**

*Cobertura de Especies de la Costa Rocosa “Caletita”.*

Costa Rocosa Caletita							
Transectos							
Especies	1 (1m)	2 (3m)	3 (1m)	4 (3m)	5 (1m)	6 (3m)	D.P
<i>Aiolochoxia crassa</i>	0.03%	0.20%	1.48%	2.84%	3.50%	-	1.368%
<i>Amphimedon queenslandica</i>	0.06%	-	-	-	-	-	0.010%
<i>Smenospongia aurea</i>	0.51%	-	-	-	1.60%	-	0.351%
<i>Ircinia felix</i>	0.98%	0.08%	0.13%	-	-	-	0.198%
<i>Ircinia strobilina</i>	-	-	-	0.26%	-	-	0.043%
<i>Niphates digitalis</i>	-	0.42%	-	0.68%	-	-	0.183%
Género <i>Spirastrella</i>	-	-	-	0.06%	-	-	0.010%
A.A. por Transecto	1.74%	0.28%	1.61%	3.84%	5.10%	0 %	
Abundancia Absoluta							2.17 %

*Nota.* Esta tabla muestra la cobertura total por transecto de cada especie de la costa Rocosa “Caletita”. La Abundancia Absoluta por transecto, la abundancia absoluta y la densidad poblacional de la localidad.

Entre las especies con mayor cobertura de la costa Oeste fueron *Aiolochoiria crassa* (Hyatt, 1875), teniendo presencia en ambas profundidades y en los tres sitios estudiados, donde su densidad poblacional fue de 8.33%. La segunda especie con mayor cobertura es *Verongula rigida* (Esper, 1794), registrado en las Costas el Presidente y el Cozumeleño, su densidad poblacional es de 4.15%. La tercera especie con mayor abundancia es del Género *Spirastrella*, presente en las tres costas, en ambas profundidades, con un total de 2.1% de densidad poblacional, en total se obtuvo una abundancia absoluta de 20.69% de cobertura en la Costa Oeste de Cozumel, tabla 7.

**Tabla 7**

*Densidad Poblacional Costa Oeste de Cozumel.*

Densidad Poblacional por Localidad				
Especies	Caletita	Presidente	Cozumeleño	Costa Oeste Cozumel
<i>Agelas tubulata</i>	-	0.84%	-	0.84%
<i>Aiolochoiria crassa</i>	1.37%	6.93%	0.03%	8.33%
<i>Amphimedon queenslandica</i>	0.01%	-	-	0.01%
<i>Chondrilla caribensis</i>	-	1.36%	-	1.36%
<i>Genero Spirastrella</i>	0.01%	2.08%	0.01%	2.1%
<i>Ircinia felix</i>	0.20%	0.95%	0.05%	1.2%
<i>Ircinia strobilina</i>	0.04%	-	0.36%	0.04%
<i>Niphates digitalis</i>	0.18%	-	-	0.18%
<i>Plakortis angulospiculatus</i>	-	0.09%	-	0.09%
<i>Smenospongia aurea</i>	0.35%	0.24%	0.16	0.75%
<i>Verongula reiswigi</i>	-	0.94%	-	0.94%
<i>Verongula rigida</i>	-	3.14%	1.01%	4.15%
<i>Xestospongia muta</i>	-	0.70%	-	0.70%
Abundancia Absoluta	2.17%	17.27%	1.62%	20.69%

## Índice de Simpson y Shannon

La riqueza de especies e índice de Shannon reflejan cifras menores en sitios con presencia de estrés constante o posible contaminación, más aún la dominancia de algunas especies junto con la poca riqueza de especies o heterogeneidad, infieren condiciones de estrés característico. De modo que algunas especies se desarrollan de manera favorable en ambientes de constante estrés como por ejemplo olas, sedimentación, el enterramiento ocasional, acidificación y aumento de la temperatura.

**Figura 25**

*Índice de Simpson y Shannon*

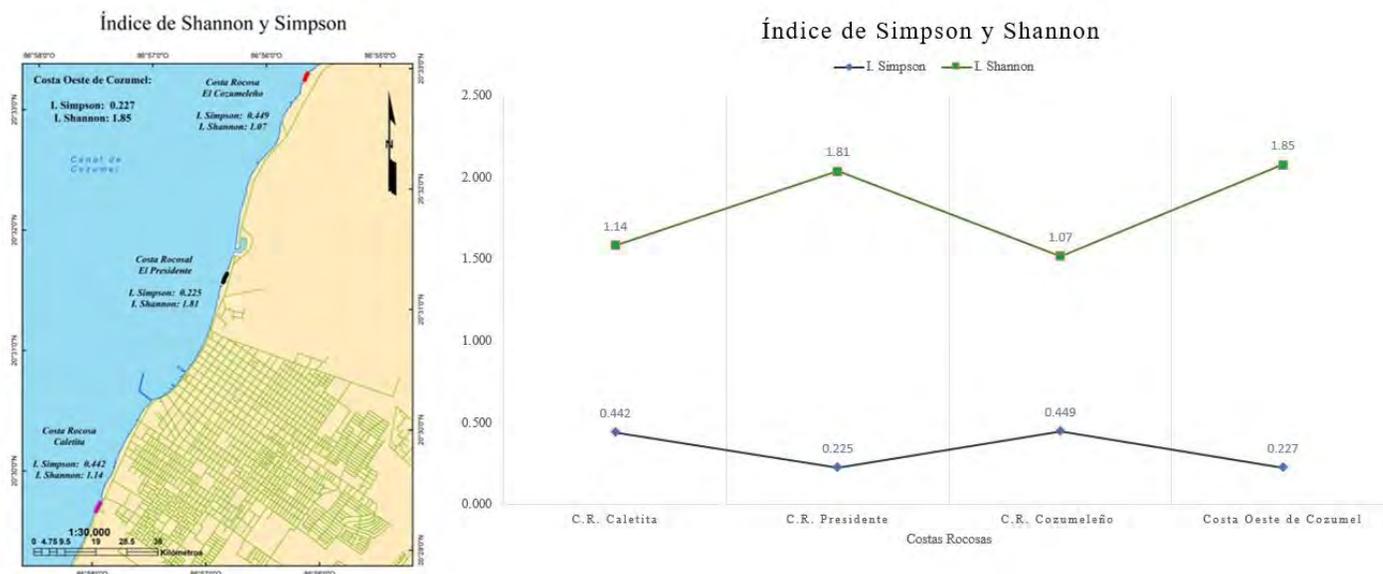


Figura 25. Mapa de áreas de estudio e índice de Simpson y Shannon por sitio y general.

En la costa el Presidente el índice de dominancia fue alto con respecto a las otras costas muestreadas, con valores de 0.225, las especies más dominantes son *Aiolochoiria crassa* (Hyatt, 1875), *Verongula rigida* (Esper, 1794), Genero *Spirastrella* y *Chondrilla caribensis* (Rützler, Duran & Piantoni, 2007), respectivamente. La diversidad de la zona igualmente fue mayor a los otros dos sitios, presentando valores de 1.81 esto se debió a una mayor riqueza con un total de diez especies y una cobertura de 12,096 cm<sup>2</sup> en siete transectos con poca heterogeneidad. Hay que mencionar que la riqueza de la zona es aún mayor a lo reportado en este estudio, debido a

que se observó la presencia de otras especies en la misma zona, no obstante, estas especies no se encontraban dentro de los transectos.

Cerca de la costa El Presidente está ubicada la una de las dos marinas de Cozumel. Puerto de abrigo es una marina de Cozumel, funciona con una capacidad de 160 embarcaciones como máximo, tiene un promedio de 3.9 metros de profundo y está ubicada aproximadamente a 0.42 km de distancia de zona de muestreo. Si bien esta zona a comparación de Caletita se puede ver poco influenciada por aguas de fuentes terrestres internas y cercanas a las costas.

Para las costas Caletita y El Cozumeleño los valores fueron casi similares, debido a la baja cobertura de especies registradas, así como también a la ausencia de especies en los últimos transectos de ambas zonas y la disminución de la riqueza de especies. A diferencia de la costa el Presidente, se decidió lanzar solo seis transectos en estos sitios, esto se decidió a causa de la poca presencia de esponjas en estas zonas.

En la costa Rocosa Caletita los valores de dominancia fueron de 0.4418, las especies con mayor dominancia con respecto a las coberturas relativas fueron *Aiolochoiria crassa* (Hyatt, 1875), *Smenospongia aurea* (Hyatt, 1875), e *Ircinia felix* (Duchassaing y Michelotti, 1864). A causa de la poca riqueza de especies, así como una cobertura de solo 1,302 cm<sup>2</sup>, el índice de diversidad es de 1.14, mostrando que la zona cuenta con poca heterogeneidad, producto de la poca cobertura y en donde más del 50% de la cobertura relativa está representada por *Aiolochoiria crassa* (Hyatt, 1875). En esta zona se encuentran dos ojos de agua conectados a un cenote aproximadamente a 186 m, este cenote colabora con la descarga de materia orgánica y nutrientes en la zona costera, provocando que el oxígeno disuelto no se encuentre en niveles aptos para la vida marina (Sánchez y Pinto *et. al*, 2015). Además, se tiene la sospecha del vertimiento de aguas negras cerca de la zona, en el 2019 se realizó la clausura de la planta de tratamiento de aguas negras cerca de la colonia CTM, esto se debió a que se desconocía donde se vertían las aguas negras, esta planta se encontraba aproximadamente a 2 km de distancia. Este sitio cuenta también con un puerto de carga de autos, aportando CO<sub>2</sub> al agua, acidificándola, sin embargo, el estudio realizado por Sánchez y Pinto *et. al* (2015), menciona que los niveles de PH se encontraba dentro de las normas oficiales del agua.

**Tabla 8**

*Índice de Simpson y Shannon, y Riqueza de las Costas del Oeste de la Isla de Cozumel.*

Costa Rocosa	Índice de Simpson	Índice de Shannon	Riqueza
	Dominancia	Diversidad	
<b>El Presidente</b>	0.225003	1.8132	10
<b>Cozumeleño</b>	0.449169	1.07000	6
<b>Caletita</b>	0.441866	1.14114	7
<b>Total, Costa Oeste</b>	0.226583	1.85086	13

La costa el Cozumeleño la dominancia fue de 0.4491 en donde *Verongula rigida* (Esper, 1794) es la especie más dominante, seguida de *Ircinia strobilina* (Lamarck 1816). La cobertura total de la zona fue de 972 cm<sup>2</sup>, siendo la zona que presento la menor cobertura, de igual forma tuvo la menor riqueza con solo seis especies. Los valores de diversidad fueron bajas con valores de 1.07, presentando poca heterogeneidad. A diferencia de la costa Caletita, el Cozumeleño no presenta acantilado, tomando las muestras de los sustratos (rocas). Cerca de esta zona se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales San Miguelito, las aguas tratadas y desinfectadas son inyectadas en dos pozos profundos de absorción de 80 m cada uno (CAPA, 2009). Esta planta de tratamiento se encuentra aproximadamente a 3.6km de la costa el Cozumeleño. Por último, la costa Caletita es de gran atractivo para los pobladores, debido a que cuenta con una caleta que les permite a las personas entrar al mar, sin embargo, en la poca arena que se logra apreciar se observa buena cantidad de vidrio, tapas de cervezas oxidadas, etc.

Los valores de los índices de diversidad específica y dominancia para la Costa Oeste de Cozumel son de 1.85 y 0.225 respectivamente, la riqueza de la zona fue de trece especies una zona con baja diversidad en cuanto al área ocupada por las especies de esponja marinas principalmente de en las costas Caletita y Cozumeleño. Es probable que la Costa Oeste de Cozumel tenga mayores índices de diversidad y dominancia, pues en zonas como el Presidente se pudo ver la presencia de más especies, así como también aún queda muchos kilómetros de costa Rocosa que inventariar.

**Tabla 9***Cobertura Relativa Demospongiae.*

Especies	Cobertura Relativa % por Sitio			
	Caletita	El Presidente	El Cozumeleño	C. Oeste de Cozumel
<i>Agelas tubulata</i>	-	0.05	-	0.040599323344610
<i>Aiolochoxia crassa</i>	0.63203843	0.4	0.018518518518518	0.402609956500725
<i>Amphimedon queenslandica</i>	0.00461915	-	-	0.000483325277912
<i>Chondrilla caribensis</i>	-	0.08	-	0.065732237796036
Genero <i>Spirastrella</i>	0.00461915	0.12	0.006172839506172	0.101498308361527
<i>Ircinia felix</i>	0.09159776	0.06	0.030864197530864	0.057999033349444
<i>Ircinia strobilina</i>	0.02000092	-	0.222222222222222	0.001933301111648
<i>Niphates digitalis</i>	0.08466904	-	-	0.008699855002416
<i>Plakortis angulospiculatus</i>	-	0.01	-	0.004349927501208
<i>Smenospongia aurea</i>	0.16245554	0.01	0.098765432098765	0.036249395843402
<i>Verongula reisiwigi</i>	-	0.05	-	0.045432576123731
<i>Verongula rigida</i>	-	0.18	0.623456790123457	0.200579990333494
<i>Xestospongia muta</i>	-	0.04	-	0.033832769453842
<b>Cobertura total en cm<sup>2</sup></b>	<b>1,302 cm<sup>2</sup></b>	<b>12,096 cm<sup>2</sup></b>	<b>972 cm<sup>2</sup></b>	

Mediante la cobertura relativa de las especies (Tabla 9), observamos el porcentaje ocupado por sitios y la Costa Oeste de Cozumel. En la costa Oeste *Aiolochoxia crassa* (Hyatt, 1875) es una de las especies más dominantes de la Costa, con una ocupación del 0.40% en total, el sitio con menor presencia de esta especie fue el Cozumeleño con solo 0.01% de presencia, mientras que en caletita ocupó el 0.63%, en el Predidente 0.4%. la segunda especie con mayor cobertura relativa fue *Verongula rigida* (Esper, 1794) ocupando el 0.2 %, ausente en Caletita y con la mayor cobertura relativa en el Cozumeleño con 0.62% y 0.18% en el Presidente. La tercera especie con mayor cobertura relativa es Genero *Spirastrella*, presente en los tres sitios de estudio con la mínima presencia en la costa caletita y el cozumeleño con porcentajes de 0.004% y 0.006%, la mayor cobertura se obtuvo de la costa el Presidente con 0.12%. *Amphimedon queenslandica* (Hooper & van Soest, 2006), fue la especie con la menor cobertura, presente con

solo el 0.000483% inventariada únicamente en la costa Caletita, de igual forma *Ircinia strobilina* (Lamarck 1816), *Plakortis angulospiculatus* (Carter, 1879) y *Niphates digitalis* (Lamarck 1814), presentaron 0.00193%, 0.004350% y 0.0087% respectivamente.

## Discusión

### **Biomonitoreo de cobertura, diversidad y abundancia de esponjas marinas.**

En el estudio realizado por Carmona-Islas *et al.* (2019) la mayor riqueza de especies de esponjas se obtuvo en sitios que se encontraban entre de 1 y 15 km de la costa y el sitio con menor riqueza de esponjas e invertebrados bentónicos fue el de la zona que se encontraba junto a la línea de costa, inventariando solo dos especies de esponjas. Contrario a lo observado a lo largo de la Costa Oeste de Cozumel presentando una riqueza de 13 especies, distribuidas en tres zonas de estudio con influencia de la zona urbana y hotelera. El autor relaciona la baja riqueza de especies de organismos bentónicos en esta zona a la posible cercanía de la costa la cual conlleva a un mayor efecto antrópico pues se ha reportado como altamente impactada, debido al crecimiento de las zonas urbanas y portuarias y al mayor aporte de sedimentos. Romero *et al.* (2013) sugiere que para el desarrollo diverso y equitativo de esponjas marinas debe existir condiciones ideales tales como la presencia de fuertes corrientes, baja turbidez, poca influencia de oleaje y salinidad óptima, más, sin embargo, también menciona que existe un patrón dominante de especies incrustantes en zonas con altos niveles de oleaje, estos resultados se manifiestan en nuestras zonas de estudio debido a que presentan una influencia constante de oleaje, por lo que las especies más adaptadas son las de hábitos incrustantes siendo las que dominan el sustrato, a diferencia de las esponjas expuestas. Romero *et al.* (2013) también alude que las escasas corrientes y el poco dominio de oleaje dificulta la remoción de sedimentos que generalmente se depositan sobre las esponjas y corales, situación que baja la capacidad de filtración de las esponjas marinas, retardando su crecimiento y originando un mayor gasto energético. En zonas como las de este estudio, específicamente Caletita y el Presidente que presentan costas de acantilado de 3-4 m de profundidad, y poseen un oleaje constante, la remoción de arena sobre esponjas situadas en fondo marino del acantilado suele ser difícil, llegando a cubrirse casi en su totalidad por arena, aunque la poca corriente del fondo marino logra descubrir pocas áreas de las esponjas. Este tipo de problemas no afecta en gran medida a

las esponjas incrustantes, debido que predominan en las paredes verticales situadas entre 0-3 m profundidad y no directamente en el fondo arenoso, resultados similares se ve en el estudio de Vargas (2019) sobre la preferencia de las esponjas marinas a los sustratos rocosos y semiconsolidados o duros (dunas marinas) a pesar de estar en un ambiente dominado por sedimento, favoreciendo a la riqueza de especies y la supervivencia de los mismo. Sin embargo, variables como la temperatura y la salinidad tienen influencia sobre la diversidad, el crecimiento y supervivencia de los poríferos. Así como las esponjas tienen influencia sobre las comunidades plantónicas y condiciones ambientales como ciclos biogeoquímicos y concentración de oxígeno.

Caballero *et al.* (2009) señala que una menor densidad se puede atribuir a las acciones de un huracán, pues, aunque no existen datos históricos para comprar en su estudio, se tiene el criterio anecdótico de los pobladores, sobre la existencia de un mayor número de esponjas grandes antes del paso del huracán Michelle en el 2001 en Bahía de Cochinos, Cuba. Pues bien, las presiones ambientales, particular de los biotipos arrecifales de esta región, establece la estructura y composición del grupo. Estos fenómenos afectan principalmente a las esponjas expuestas, generando fracturas en sus estructuras, este fragmento es arrastrado por las corrientes del fondo, por lo que su adición al sustrato vertical es muy difícil, estos acontecimientos no afectan a las esponjas incrustantes, pues el fracturarse es un suceso poco usual, debido a que las esponjas incrustantes tienen una forma planada que cubre el sustrato.

Con respecto a la distribución de esponjas en un gradiente de profundidad, así como su presencia, esta varía de una especie a otra, debido a que pueden ser afectadas por múltiples factores físicos tales como la sedimentación y la rugosidad del sustrato, por lo que el sustrato es un factor importante en la abundancia de las esponjas ya que la presencia de relieves o cierta heterogeneidad, parecen ser favorables para la fijación de estas. Por otra parte, en profundidades entre 1 a 3 m se observa el predominio de unas pocas especies las cuales se encuentran sometidas a una tensión constante producida por el oleaje y la iluminación, dado que a poca profundidad los rayos solares son más intensos y en esta zona subsisten especies bien adaptadas, capaces de aprovechar al máximo los recursos disponibles pudiendo explicar el predominio de especies incrustantes o rastreras (Núñez Flores *et al.* 2010).

Pawlik *et al.* (2008) determina que la abundancia se ve favorecida en especies que no son químicamente defendidas, debido que la defensa química requiere de un gasto energético y este

se obtiene a cambio del crecimiento y la reproducción. Entre las especies encontradas en este estudio y son señaladas químicamente defendidas se encuentran *Ircinia estrobilina* e *I. felix*, *Verongula rígida* y el género *Aplysina*, lo cual explicaría su baja cobertura.

Entre las especies apetecibles que encontramos en la costa Oeste de Cozumel también se encuentra *Callyspongia vaginalis* y *Niphates digitalis*, estas especies crían y producen larvas la gran parte del año, mejorando su capacidad para incorporarse en el espacio libre, las cuales se pueden adherir a la zona vertical.

López (2013) menciona que las abundancias y los recubrimientos no se encuentran directamente relacionados, así como tampoco reaccionan en todos los casos de la misma manera al ambiente, mencionando que su uso como equivalentes en estudios ecológicos sobre las comunidades de esponjas no son recomendables. No obstante, estos indicadores han tenido éxito al discriminar las zonas más contaminadas de las no contaminadas. A causa de la contaminación a nivel de comunidad la densidad de esponjas se ven disminuidas, dado que este factor favorece a especies resistentes e indicadora, generando en consecuencia, la reducción de sus densidades, así como el número total de individuos.

Esto se refleja en nuestros resultados, en el caso de la Rocosa Caletita y el Presidente, en donde la primera tiene una mayor influencia de visitantes, así como una terminal marítima en constantes maniobras, también se tiene cercanías a las zonas con sospechas de contaminación por aguas emisarias de desechos. Sánchez y Pinto *et al.* (2015) realizaron un estudio sobre el cenote Caletita y dos ojos de aguas que se encuentran conectados por un pasaje subterráneo de 186m, estos ojos de agua se encuentran aproximadamente a 15-20 metros de los sitios donde se evaluaron las coberturas de las esponjas. El cenote colabora con la descarga de materia orgánica y nutrientes en la zona costera, esto se debe a la descomposición de la materia orgánica, provocando que el oxígeno disuelto no se encuentre en los criterios ecológicos para la protección de la vida marina. Es muy probable que estas características de la Costa Caletita presente poca riqueza y bajos valores de diversidad, a diferencia de la Costa el Presidente, en donde se tiene mínima influencia de personas, observándose únicamente gente pescando con anzuelos, una desembocadura de agua para lluvia, localizada a 240 m aproximadamente, procedente de la pista del aeropuerto internacional. Sin embargo, en esta zona no se encuentra información sobre la calidad de agua, con referencia a descarga de materia orgánica y nutrientes, cabe señalar que

aproximadamente a 598 m de distancia se encuentra Puerto de Abrigo, el cual puede albergar aproximadamente 160 embarcaciones pequeñas y medianas, y genera aportación de CO<sub>2</sub> y otros agentes que pudiesen causar algún impacto, aún no evaluado.

Autores como Chilma Arias (2018), sugiere que las esponjas de agua dulce, así como las marinas son indicadores ambientales, por la necesidad de la búsqueda de sustrato, así como la de un ambiente con abundante carga de oxígeno, siendo susceptible a los cambios ambientales, así como una poca adaptación en ambientes contaminados o con mucha carga sedimentaria.

También es considerado su rol en las zonas que habitan, jugando un papel como alimento para otros organismos bentónicos, guarida, de igual forma como representante de la erosión de los arrecifes y su participación en los procesos biogeoquímicos (nitrógeno, carbono y sílice) (Ariza Pérez, 2017). Las esponjas incrustantes corroen los sustratos de carbonato de calcio, influenciando desfavorablemente al equilibrio de carbonato de los hábitats, por lo cual la comprensión de la distribución y abundancia, así como el conocimiento de la diversidad y la fauna local es de gran importancia, debido a que las esponjas desempeñan una importante función ecológica en los hábitats (Leal, 2016).

En la actualidad, el tema sobre la abundancia de las esponjas excavadoras ha tomado valor, debido a que su abundancia se ve favorecida por el blanqueamiento coralino, provocando la fragmentación de la estructura coralina debilitando a las colonias (Ariza Pérez, 2017).

### **Secuencias de ADN**

Si bien, aún se encuentran problemas para la extracción de ADN de las esponjas marinas, constatado en el resultado de la Reacción en Cadena de Polimerasa (PCR) y las secuencias obtenidas, las cuales se ilustran en la figura 21 y la tabla 2. Entre las primeras explicaciones que se puede obtener para este resultado es, el mal protocolo en la elaboración de las placas eppendorf llevado a cabo, proporcionando una mayor cantidad de tejido de lo requerido, así como también puede deberse a que los primers empleados para el proceso de PCR no son propios para todos los especímenes. De estas muestras se obtuvieron bandas de secuencias de entre 619 a 650 pb.

La identificación de especies de esponjas marinas, mediante caracteres morfológicos, se encuentra restringida debido a la dificultad de la determinación de las especies del filum,

principalmente por la gran plasticidad morfológica y la escasez de los caracteres diagnósticos (Schmitt *et al.* 2005), siendo un reto que obligan a aumentar esfuerzos con equipos especializados en laboratorios (Vargas, 2019). La taxonomía tradicional se determina con la forma, tamaño y número de espículas encontradas en los tejidos y esto representa un problema ya que no todas las esponjas las tienen presentes, así como la plasticidad ecológica que poseen, pues dos especies diferentes pueden parecer la misma si se desarrollan en el mismo ambiente, incitando al desarrollo de enfoques moleculares (Ariza Pérez, 2017; Erpenbeck *et al.* 2007).

Hoy en día los protocolos para la extracción del ADN en esponjas marinas dependen de diversos factores, Chilma Arias (2018) revela que el protocolo para la extracción de ADN mitocondrial COI se ve favorecida, dependiendo del método de preservación de las muestras. Pues muestras preservadas en Dimetil Sulfoxido (DMSO) fueron las más amplificadas que las muestras preservadas en alcohol, sin embargo, hay que tener en cuenta que las especies analizadas en su estudio son organismos de agua dulce. Así como también la cantidad de muestra que es enviada para los análisis, pues una de las posibles causas de que en este estudio solo algunas muestras hayan sido secuenciadas.

En cuanto a la identificación de las especies, el Análisis BLAST resulta ser una herramienta de gran ayuda, en los cuales se toma en cuenta los rangos de cobertura y similaridad de las secuencias de ADN mitocondrial COI. Chilma Arias (2018) tomo datos con rangos de cobertura entre 95% y 100% y un rango de similaridad de 93% y 99%. Mientras que Ariza Pérez (2017) selecciono aquellos con un porcentaje de identidad 70% y 100% y porcentaje de cobertura de 100%. Este análisis es necesario para la confirmación de la identidad taxonómica y controlar la posible contaminación o ampliación de genes que no son de porífera (León-Pech *et al.* 2015).

Actualmente se están implementando múltiples esfuerzos para la identificación de especies, a través de diversos marcadores moleculares, León-Pech *et al.* (2015) refiere que el reducido número de marcadores es una limitante en el estudio de genética de poblaciones. Por lo que se sugiere que para estudios de ADN el uso con marcadores adicionales como ITS, 5.8S, ITS2 y 18S (Chilma Arias, 2018), en conjunto con COI, así como también el uso la 3' region del fragmento COI (Pöppe *et al.* 2010). Esto a causa de que el gen COI no representa suficiente variabilidad para la identificación a nivel de especie y su nivel resolutivo es demasiado bajo (Erpenbeck *et al.* 2007; Ariza Pérez, 2017). Tal es el caso, realizado por León-Pech *et al.* (2015)

en donde las secuencias del gen COI presento menos variabilidad, debido a la baja tasa de evolución mitocondrial y posiblemente se deba al largo tiempo generacional conjunto de una baja tasa metabólica, a diferencia del gen ITS que mostro la mayor diversidad genética.

Los resultados obtenidos del BLAST deben integrarse a otros métodos de identificación, tales como caracteres morfológicos y conteo de espículas para una correcta identificación, en algunos casos los resultados se corroboran mediante características morfológicas externas en bases de datos y la ubicación geográfica (Ariza Pérez, 2017). Sin embargo, se ha empezado a tomar en cuenta el acomodo de las espículas en el esqueleto en conjunto con la disposición del sistema acuífero sustentando los datos con secuencias de ADNr 18S y 28S (Voigt *et al.* 2012; Voigt y Wörheide, 2015). De igual forma se toman en cuenta las diversas sustancias químicas para la identificación de ciertas especies como la extracción de la Iantelina BT-D organismos de *A. crassa*, implemento el uso de la morfología externa y repertorios de espículas en conjunto con la extracción del gen COI, para resolver la identidad taxonómica. Esta sustancia no siempre está presente en *A. crassa*, sin embargo, a la gran variabilidad morfológica típica de esta especie y la variación química de esta sustancia, pudiera estar asociados a especies cripticas (Cárdenas, 2016).

El análisis filogenético se ha llevado a cabo con fines para la identificación de taxones (Chilma Arias, 2018), el estudio realizado por Pöppe *et al.* (2010) visualizar en sus datos la división entre especies de aguas profundas y poco profundas, percibiendo separaciones claras entre géneros. Esto se debe implementar debido a que unos de los problemas que se presenta es la identificación molecular, en otras palabras, especies distintas proporcionan resultados similares (Ariza Pérez, 2017). Así como de igual forma la especiación criptica (Pöppe *et al.* 2010). En esponjas calcáreas ha sido de ayuda para sugerir nuevas relaciones filogenéticas y mostrar la evolución de espículas (Cárdenas *et al.* 2011). También filogenias realizadas con marcadores ITS han logrado presentar datos sobre la no monófila entre grupos (Voigt *et al.* 2012). Sin embargo, debido a la falta de secuencias COI de este filum, nuestros análisis filogenéticos muestran secuencias de *Spirastrella* que se relación con *Neopetrosia* debido a que comparten una misma subclase Heteroscleromorpha, mas, sin embargo, *Spirastrella* perteneciendo al orden Clionaida, este no se vio relacionado con los organismos del género *Cliona*.

El gen COI brinda información sobre las agrupaciones en niveles taxonómicos más bajos a nivel de familia y género (Erpenbeck *et al.* 2007), sin embargo, Schmitt *et al.* (2005) refería a que el gen COI se considera apropiado para explicar las relaciones entre especies. Siendo demostrado por Pöppe *et al.* (2010) revelando que a nivel supraespecífico, proporciona una separación clara de diversos géneros, ayudando a detectar la especiación críptica de especies genéticamente diferentes pero difícil de distinguir morfológicamente y a la taxonomía, cabe señalar que no es igual en todos los taxones, llegando a presentar dificultades sin lograr distinguir claramente entre géneros aceptados o incluso familias. También mediante los patrones de diversidad y estructura genética revelada por los marcadores se observa la influencia de barreras de la dispersión que actúan a diferentes escalas espaciales, en donde el patrón genético prevaeciente es el aislamiento por distancia (León-Pech *et al.* 2015).

Los esfuerzos han ido en aumento, estudios sobre el gen COI y la evolución de las espículas en Demospongiae, revelan la pérdida secundaria de megascleras y microscleras, siendo esta característica un problema en la taxonomía clásica y cuestionando la utilidad por la plasticidad fenotípica en las espículas (Cárdenas *et al.* 2011), característica reportada igual en esponjas Calcareae (Voigt *et al.* 2012).

### **Conclusión**

Diversos factores como la alta carga de materia orgánica, la alta influencia de CO<sub>2</sub> debido al tránsito marítimo en la zona, los bajos niveles de oxígeno, y la alta influencia de visitantes afectan a la fauna marina y entre ellos a las esponjas. Las características de la zona como el tipo de sustrato, embate de las olas y la inclinación influyen las coberturas de las esponjas, por lo que especies adaptadas como las incrustantes tienden a cubrir estas zonas a comparación de las esponjas expuestas.

Las esponjas como bioindicadores aún están en debate, debido a que sus coberturas pueden variar dependiendo de la especie y el sustrato disponible, así como también especies químicamente defendidas, una de las principales especies con mayor auge son los clionidos, en donde su abundancia está relacionado al cambio climático indirectamente debido al sustrato muerto de coral muerto que es un generador de sustrato disponible. Sin embargo, en este estudio no

se obtuve registro de especies de Clionidos, aunque si se obtuvo el registro del Genero *Spirsatrella* el cual es perteneciente a la Orden Clionaida, sin embargo, su ubicación taxonómica queda en duda, pues se ve más emparentado con el Orden Haplosclerida.

Aún falta información para conocer la calidad del agua en la Costa Oeste de Cozumel, aumentar los esfuerzos para conocer la fisicoquímica apoyara al hueco de conocimiento que se tiene de esta zona lo cual será de utilidad para observar las relaciones entre las coberturas de esponjas y otros filum vinculados a estas costas, y sus diversas variables.

La taxonomía integrativa en el filum Porifera, abre las posibilidades a mejorar la clasificación de las especies de difícil identificación o cripticas, fundado en los caracteres morfológicos, esqueléticos y secuencias de ADN. Sin embargo, aún falta generar un mayor aporte a los bancos de ADN, ya que aún existe huecos de información. La información de secuencias de ADN está apoyada con información esquelética y morfológica, con lo que se genera un mejor sustento en la identificación de las especies.

## Referencias

- Aguirre, I. O. (2012). *Actividad biológica de esponjas y su relación con la complejidad de la comunidad bentónica en la bahía de la paz, B.C.S., México* [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional.
- Alcolado, P. M. y Herrera, A. (1987). Efectos de la contaminación sobre las comunidades de esponjas en el litoral de La Habana, Cuba. *Rep. Invest. Inst. Ocean.* 68. 1-23
- APIQROO (2008). Marina de Cozumel. SINAT. SEMARNAT. 1-129. Recuperado en <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/qroo/estudios/2008/23QR2008TD056.pdf>
- Ariza Pérez, f. I. (2017). *Análisis metagenómico de los microbiomas asociados a esponjas marinas del Parque Nacional Cabo Pulmo (BCS), dirigido a la búsqueda de genes involucrados en la síntesis de policétidos y péptidos no ribosomales con potencial actividad antimicrobiana* [Tesis de maestría]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

- Busutil, L. y Alcolado, P. M. (2012). Prueba de un índice de contaminación orgánica urbana basado en comunidades de esponjas de arrecifes de Cuba. *Serie Oceanológica*, 10, 90-103.
- Caballero, H., Busutil, L., García, Y. y Alcolado, P. M. (2009). Variación espacial en comunidades de esponjas de la costa oriental de Bahía de Cochinos, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 1, 95-109. doi: 10.15359/revmar.1.5
- Campos-Vázquez, C., Carrera-Parra, L. F., González, N. E., y Salazar-Vallejo, S. I. (1999). Criptofauna en rocas de Punta Nizuc, Caribe mexicano y su utilidad como biomonitor potencial. *Revista de Biología Tropical*, 47 (4), 799-808.
- CAPA (2009). Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Miguelito Cozumel Q. Roo. Manifestación de Impacto Ambiental.
- Carballo, J. L. y Naranjo, S. (2002). Environmental assessment of a large industrial marine complex based on a community of benthic filter-feeders. *Marine Pollution Bulletin*, 44 (7) 605-610. doi: 10.1016/S0025-326X(01)00295-8
- Carballo, J. L., Bautista-Guerrero, E., y Leyte-Morales, G. E. (2008). Boring sponges and the modeling of coral reefs in the east Pacific Ocean. *Marine ecology progress series*, 356, 113-122. doi: 10.3354/meps07276
- Carballo, J. L., Gómez, P., y Cruz-Barraza, J. A. (2014). Biodiversidad de porífera en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 143-153. doi: 10.7550/rmb.32074
- Cárdenas, P. (2016). Who produces ianthelline? The Arctic sponge *Stryphnus fortis* or its sponge epibiont *Hexadella dedritifera*: A probable case of sponge-sponge contamination. *Journal of chemical ecology*, 42(4), 339-347.
- Cárdenas, P., Xavier, J. R., Reveillaud, J., Schander, C. y Rapp, H. T. (2011). Molecular Phylogeny of the Astrophorida (Porifera, Demospongiae) Reveals an Unexpected High Level of Spicule Homoplasy. *PLoS ONE* 6 (4), 1-8. doi: 10.1371/journal.pone.0018318
- Carmona-Islas, C., Morales-García, A., Hernández-Mendiola, J. A., Gama-Villasana, H., Colmenares-Campos, C. y Cruz-Gutiérrez, R. (2019). Invertebrados bentónicos en diez arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90. 1-10 doi: 10.22201/ib.20078706e.2019.90.2741

- Casarín, R. S., Lacouture, M. M., Durón, F. J., Paez, D. P., Pérez, M. A., Baldwin, E. G., Calzadilla, M. A., Castillo, M. D. C., Delgado, A. F. y Salinas, A. C. (2014). Caracterización de la zona costera y planeamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable. SEMARNAT.
- Cervantes-Martínez, A., Gutierrez-Aguirre, M., Blas, V. y Ruíz, J. D. (2012). *Especies de zooplancton dulceacuícola de Cozumel*. México. Universidad de Quintana Roo.
- Chaves-Fonnegra, A., Zea, S. y Gómez, M. L. (2007). Abundance of the excavating sponge *Cliona delitrix* in relation to sewage discharge at San Andrés Island, SW Caribbean, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 36 (1), 63-78. doi: 10.25268/bimc.invemar.2007.36.0.201
- Chilma Arias, A. F. (2018). *Análisis filogenético de las esponjas de agua dulce de Colombia mediante ADN mitocondrial COI*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de los Andes.
- Chu, J. W. F. y Reiswig, H. M. (2014). Mechanisms of propagule release in the carnivorous sponge *Asbestopluma occidentalis*. *Invertebrate Biology*, 133 (2), 109–120. doi: 10.1111/ivb.12045
- Coffroth, M. A., Lasker, H., Diamond, M., Bruenn, J. y Bermingham, E. (1992). DNA fingerprints of a gorgonian coral: a method for detecting clonal structure in a vegetative species. *Marine Biology*. 114. 317-325.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2007). “*Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área de Protección de Flora y Fauna Isla de Cozumel, Quintana Roo, México*”.
- Comisión Nacional del Agua (2019). *Climatología. Promedio diario de Lluvia. Estación climatológica COZUMEL (DGE). Estadísticas. México*. Recuperado en <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Estadistica/23048.pdf>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2011). *Zonas Económicas Exclusivas de México*. Limite Nacional. Escala 1: 250 000.
- Cruz-Ferrer, M. I. (2012). *Distribución y abundancia de *Ircinia strobilina* e *Ircinia fistularis* (Demospongiae: Irciinidae) y su fauna asociada en el arrecife Tuxpan, Veracruz*. [Tesis Doctoral]. Universidad Veracruzana.

- De la Nuez Hernández, D., Busutil, L. y Angulo, A. P. (2011). Diversidad y abundancia de las esponjas de los Bajos de Sancho Pardo, Archipiélago de los Colorados, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 3 (1), 139-152.
- Díaz, M. y Zea, S. (2008). Distribución de esponjas sobre la plataforma continental de La Guajira, Caribe colombiano. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37 (2), 27-43. doi: 10.25268/bimc.invemmar.2008.37.2.189
- Duckworth, A. R., y Peterson, B. J. (2012). Effects of seawater temperature and pH on the boring rates of the sponge *Cliona celata* in scallop shells. *Marine Biology*, 160 (1), 27–35. doi:10.1007/s00227-012-2053-z
- Erpenbeck, D., Duran, S., Rützler, K., Paul, V. J., Hooper, J. N. y Wörheide, G. (2007). Towards a DNA taxonomy of Caribbean demosponges: a gene tree reconstructed from partial mitochondrial CO1 gene sequences supports previous rDNA phylogenies and provides a new perspective on the systematics of Demospongiae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 87 (6), 1563–1570. doi: 10.1017/S0025315407058195.
- Ferriol Molina, M., & Merle Farinós, H. B. (2012). Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad. Aplicación al estudio de comunidades vegetales. Universidad Politécnica de Valencia.
- Francisco, V. D. L. C. y Bandala-Pérez, Á. E. (2016). Esponjas y cnidarios (hydrozoa y anthozoa) del arrecife oro verde; cobertura bentónica y afinidad faunística con sistemas arrecifales de Veracruz, México. *CICIMAR Océánides*, 31 (2), 45-63.
- Gili, J. M. (1998). Ecología trófica de algunas especies de suspensívoros bentónicos sésiles en el mar de Weddel. Un programa CS-EASIZ.
- Gómez, P. y Green, G. (1984). Sistemática de las esponjas marinas de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 11 (1), 65-90.
- González-Solís, A. y Torruco, D. (2015). Fauna y flora intermareal de las costas rocosas de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*. 63 (4), 943-958. doi: 10.15517/RBT.V63I4.16416.

- González-Solís, A., Torruco, D., Torruco Gonzales. A. D. y Ordaz Bencomo. J. F. (2017). Ambientes Extremos Amenazados: las costas rocosas. *CONABIO. Biodiversitas*, 130, 7-11.
- González M. A. y Arenas-Castro H. (2017). Recolección de tejidos biológicos para análisis genéticos. D. C., Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. DC, Colombia. 33 pp.
- González-Gándara, C., Patiño-García, A., Asís-Anastasio, U., Serrano, A. y Gómez, P. (2009). Lista de esponjas marinas asociadas al arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 80 (1), 1-5.
- Green, G. y Gómez, P. (1986). Estudio taxonómico de las esponjas de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13 (3), 273-300.
- Holmes, K. E. (2000). Effects of eutrophication on bioeroding sponge communities with the description of new West Indian sponges, *Cliona* spp. (Porifera: Hadromerida: Clionidae). *Invertebrate Biology*, 119 (2), 125-138. doi: 10.2307/3227209.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Recuperado en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825095130.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095130.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Marco Geoestadístico. Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:4 000 000.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. Tabulados del cuestionario básico. Recuperado en [https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Tabulados\\_](https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Tabulados_)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (SF). Mapas. Edafología. México. Recuperado en <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/default.html#Mapa>.
- Leal, C. V., De Paula, T. S., Lobo-Hajdu, G., Schoenberg, C. H., y Esteves, E. L. (2016). Morphological and molecular systematics of the ‘*Cliona viridis* complex’ from southeastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(2), 313-322.

- León-Pech, M. G., Cruz-Barraza, J. A., Carballo, J. L., Calderón-Aguilera, L. E., y Rocha-Olivares, A. (2015). Pervasive genetic structure at different geographic scales in the coral-excavating sponge *Cliona vermifera* (Hancock, 1867) in the Mexican Pacific. *Coral Reefs*, 34, 887-897. doi: 10.1007/s00338-015-1316-9
- López, L. B. (2013). *Características de las comunidades de esponjas como bioindicadores potenciales de contaminación en arrecifes coralinos* [Tesis Doctoral]. Universidad de La Habana. Cuba.
- Loreto-Viruel, R., Viruel, A. y Lazcano-Barrero, M. (2017). Caracterización de Banco Arrowsmith, Quintana Roo, México. En: Amigos de Sian Ka'an (Ed.), *Caracterización de Arrecifes Insulares de Quintana Roo, México*. (pp. 80-95). Quintana Roo, México. Grupo Regio.
- Maas Vargas, M. G. (2004). Inventario de las esponjas marinas (Porifera: Demospongiae) de la colección de referencia de bentos costeros de ECOSUR. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 20 (39), 23-28.
- Maas Vargas, M. G. y Bahena Basave H. (2008). Esponjas Marinas (Porífera: Demoespongiae). En: Mejía Ortíz L. M. (Ed.), *Biodiversidad Acuática de la Isla de Cozumel* (pp. 151-161). Universidad de Quintana Roo.
- Montalvo, N. F. y Hill, R. T. (2011). Sponge-associated bacteria are strictly maintained in two closely related but geographically distant sponge hosts. *Applied and environmental microbiology*, 77(20), 7207-7216.
- Morales, J., Monteoliva, A. y Criado, A. (2020). Aportaciones ecológicas sobre esponjas dulceacuícolas (Porifera; Spongillidae) del río Ebro en Burgos. Nueva cita de *Ephydatia muelleri*. *Munibe. Ciencias Naturales*, 68(16). 1-9. doi: 10.21630/mcn.2020.68.16
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. *M&T-Manuales y Tesis SEA*, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Nava, H. y Carballo, J. L. (2008). Chemical and mechanical bioerosion of boring sponges from Mexican Pacific coral reefs. *Journal of experimental Biology*, 211(17), 2827-2831. doi: 10.1242/jeb.019216

- Núñez Flores, M., Rodríguez-Quintal, J. G., y Cristina Díaz, M. (2010). Distribución de esponjas (Porífera) a lo largo de un gradiente de profundidad en un arrecife coralino, Parque Nacional San Esteban, Carabobo, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58, 175-187.
- Pawlik, J. R., Henkel, T. P., McMurray, S. E., López-Legentil, S., Loh, T. L., y Rohde, S. (2008). Patterns of sponge recruitment and growth on a shipwreck corroborate chemical defense resource trade-off. *Marine Ecology Progress Series*, (368) 137-143.
- Pérez De Castro A. M. [Universidad Politécnica de Valencia – UPV] (2015, febrero 23). Extracción de DNA. [Archivo de video]. Recuperado en [https://www.youtube.com/watch?v=nXeB1Ib13P8&t=239s].
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31 (8), 583-590.
- Pöppe J., Sutcliffe P., Hooper JNA., Wörheide G. y Erpenbeck D (2010). COI Barcoding Reveals New Clades and Radiation Patterns of Indo-Pacific Sponges of the Family Irciniidae (Demospongiae: Dictyoceratida). *PLoS ONE* 5 (4), 1-6. doi: 10.1371/journal.pone.0009950
- Prabhakaran, M. P., Pillai, N. G. K., Jayachandran, P. R. y Nandan, S. B. (2013). Species Composition and Distribution of Sponges (Phylum: Porifera) in the Seagrass Ecosystem of Minicoy Atoll, Lakshadweep, India. En: K. Venkataraman et al. (eds.), *Ecology and Conservation of Tropical Marine Faunal Communities* (pp. 43-54). Berlín, Heidelberg, Springer.
- Reyes Bonilla, H. (2011). Monitoreos complementarios de algas, invertebrados y peces en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (Informe final No. DM007) México D. F.
- Riesgo, A., Novo, M., Sharma, P. P., Peterson, M., Maldonado, M. y Giribet, G. (2013). Inferring the ancestral sexuality and reproductive condition in sponges (Porifera). *Zoologica Scripta*, 43(1), 101–117. doi:10.1111/zsc.12031
- Ríos-Sánchez, E., Calleros, E., González-Zamora, A., Rubio, J., Martínez, O. C., Martínez, A., Hernández S., y Pérez-Morales, R. (2016). Análisis comparativo de diferentes métodos de extracción de DNA y su eficiencia de genotipificación en población mexicana. *Acta universitaria*, 26(4), 56-65. doi: 10.15174/au.2016.1078

- Romero, M. A., Villamizar, E. y Malaver, N. (2013). Estructura de la comunidad de esponjas (Porifera) en tres arrecifes del Parque Nacional Morrocoy, Venezuela y su relación con algunas variables ambientales. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1229-1241.
- Rot, C., Goldfarb, I., Ilan, M. y Huchon, D. (2006). Putative cross-kingdom horizontal gene transfer in sponge (Porifera) mitochondria. *BMC evolutionary biology*, 6(1), 1-11.
- Ruíz Pinzón, C. A. (2009). *Aspectos ecológicos de la población de la esponja Discodermia dissoluta (Porifera: Demospongiae: Lithistida) en el Caribe colombiano* [Tesis de licenciatura] Universidad de Bogotá.
- Sánchez y Pinto, I. A., Cervantes-Martínez, A., Herrera, R. A. G., Campos, M. E. V. y Gutiérrez-Aguirre, M. A. (2015). Evidencia de flujo preferencial al mar, del Cenote Caletita, en Cozumel, México. *Ingeniería*, 19(1), 1-12.
- Schmitt, S., Hentschel, U., Zea, S., Dandekar, T., y Wolf, M. (2005). ITS-2 and 18S rRNA gene phylogeny of Aplysinidae (Verongida, Demospongiae). *Journal of Molecular Evolution*, 60(3), 327-336. doi: 10.1007/s00239-005-6111-8
- Schoch, Á. P. (2013). *Estructura del filo porifera grant, 1836 en dos praderas de fanerógamas de isla fuerte, Bolívar* [Tesis de licenciatura]. Universidad Javeriana.
- Secretaría de Turismo (2014). Agendas de competitividad de los destinos turísticos de México 2013-2018. Cozumel, Quintana Roo. Recuperado en <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Cozumel.pdf>.
- Secretaría de Turismo (2018). Programa Marco para Fomentar Acciones para Restablecer el Balance del Ciclo del Agua en Cozumel. Recuperado en <http://www.sectur.gob.mx/gobmx/wp-content/uploads/2020/02/Cozumel.pdf>.
- STUDOCU (2017). Practica 2 Técnica para aislar Espículas de Esponjas. Manual de actividades experimentales. Recuperado en <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-del-litoral/biologia/trabajos-practicos/practica-2-tecnica-para-aislar-espiculas-de-esponjas/2976625/view>.
- Torruco Gómez, D. y Gonzales Solís, A. (2010). Invertebrados. Diversidad faunística. Las esponjas y su importancia. En: Durán R. y M. Méndez (Eds). 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. (pp. 202-203). CICY.

- Ugalde, D., Gómez, P. y Simoes, N. (2015). Marine sponges (Porifera: Demospongiae) from the Gulf of México, new records and redescription of *Erylus trisphaerus* (de Laubenfels, 1953). *Zootaxa*, 3911(2), 151-183. doi: 10.11646/zootaxa.3911.2.1
- Universidad Nacional Autónoma de México (2013-2021). Galeria-Invertebrado. Biodiversidad Marina Zihuatanejo. Recuperado en <http://sistemas.fciencias.unam.mx/~biomar/bioportal/Galeria/Invertebrados.php>.
- Uriz, M. J. (1986). Clave de la identificación de las esponjas más frecuentes de la Península Ibérica. *Miscellanea zoológica*, 10, 7-22.
- Vacelet, J. y Boury-Esnault, N. (1996). A new species of carnivorous sponge (Demospongiae: Cladorhizidae) from a Mediterranean cave. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (Biologie)*, 66, 109-115.
- Vargas, B. J. A. M. (2019). *Estructura de la comunidad de poríferos en el arrecife "los picos" en Veracruz, México* [Tesis de maestría]. Universidad veracruzana.
- Vassallo, A., Dávila, Y., Luviano, N., Deneb-Amozurrutia, S., Vital, X. G., Conejeros, C. A., Vázquez, L. y Álvarez, F. (2014). Inventario de invertebrados de la zona rocosa intermareal de Montepío, Veracruz, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(2), 349-362. doi: 10.7550/rmb.42628
- Vega J. C. (2012). *Composición y afinidades biogeográficas de esponjas (demospongiae) asociadas a comunidades coralinas del pacífico mexicano* [Tesis de doctorado] Instituto Politécnico Nacional.
- Vicente, J., Ríos, J. A., Zea, S. y Toonen, R. J. (2019). Molecular and morphological congruence of three new cryptic *Neopetrosia* spp. in the Caribbean. *PeerJ*, 7, e6371.
- Voigt, O. y Wörheide, G. (2015). A short LSU rRNA fragment as a standard marker for integrative taxonomy in calcareous sponges (Porifera: Calcarea). *Organisms Diversity and Evolution*, 16(1), 53-64. doi: 10.1007/s13127-015-0247-1
- Voigt, O., Wulfing E. y Worheide, G. (2012). Molecular Phylogenetic Evaluation of Classification and Scenarios of Character Evolution in Calcareous Sponges (Porifera, Class Calcarea). *PLoS ONE* 7(3), 1-16. doi: 10.1371/journal.pone.0033417