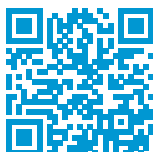


17. Estructura de *Demospongiae* sugiere calidad del área béntica en la línea de costa oeste de Cozumel, México



GREGORIO DE LA CRUZ UC*

MARTHA ANGÉLICA GUTIÉRREZ AGUIRRE**

ADRIÁN CERVANTES MARTÍNEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.319.17>

Resumen

Este estudio expone la estructura de esponjas marinas en profundidades de uno a tres metros, en algunas costas rocosas del oeste de Cozumel, Quintana Roo. La colecta de datos se efectuó por medio de fototransectos para los análisis de cobertura por especie, a través de buceo autónomo libre, sobre cuadrantes de 1 m². Se prestó atención a las costas rocosas debido a su importancia como hábitats para el crecimiento de las comunidades de esponjas marinas, así como para explorar el potencial del filo *Porifera*, como uso de indicadores ambientales en las áreas costeras del trópico. La clasificación de especies se realizó por medio del análisis macroscópico de los organismos, análisis microscópico de espículas de muestras permanentes y se complementó con la secuenciación de ADN del gen de la subunidad 1 del citocromo c oxidasa mitocondrial (COI) de algunos especímenes. La diversidad y

* Licenciado en Manejo de Recursos Naturales. Asesor de ventas y administrador de la sucursal Wasser Playa en la empresa Bio Saving Energy S.A.P.I de C.V.

** Doctora en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable. Profesora-investigadora en la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo-Unidad de Ciencias Multidisciplinarias de Cozumel, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9329-820X>

*** Doctor en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable. Profesor-investigador de tiempo completo titular "A" de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8947-8558>

dominancia se evaluaron por medio de los índices de Shannon y Simpson. Se determinó que contar con una buena cantidad de información sistematizada, referente a la estructura básica de estas comunidades en la línea de costa (o los cambios que sufriría detectados a través de monitoreos) es fundamental en áreas con influencia urbana, debido al rol de las *Demospongiae* en la comunidad arrecifal.

Palabras clave: *Caribe mexicano, ecología, esponjas, estructura, marino.*

Introducción

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 han tenido como consecuencia una piedra caliza altamente soluble destacando el afloramiento de líneas de costas calizo-rocosas, que 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 está propensa 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).

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 criptofau-

na se encuentran los horadadores que son aquellos organismos que generan oquedades en la roca o que dejan un espacio hueco en un espacio sólido (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 re-suspensión de sedimento, debido a que el incremento de partículas en la columna de agua puede generar cambios en la composición 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 se 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 dependen de la renovación de la cantidad de alimento que se encuentra estrechamente ligado a las corrientes marinas. 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; pero también 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 asociados a las líneas de costa están los Cnidarios, los Briozoos, Crinoideos y el Filo 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).

En cuanto a la importancia ecológica de los poríferos, se cuenta que tienen amplia tolerancia ecológica y elevada biomasa (que frecuentemente supera la de los corales), son buenos competidores por el espacio y consti-

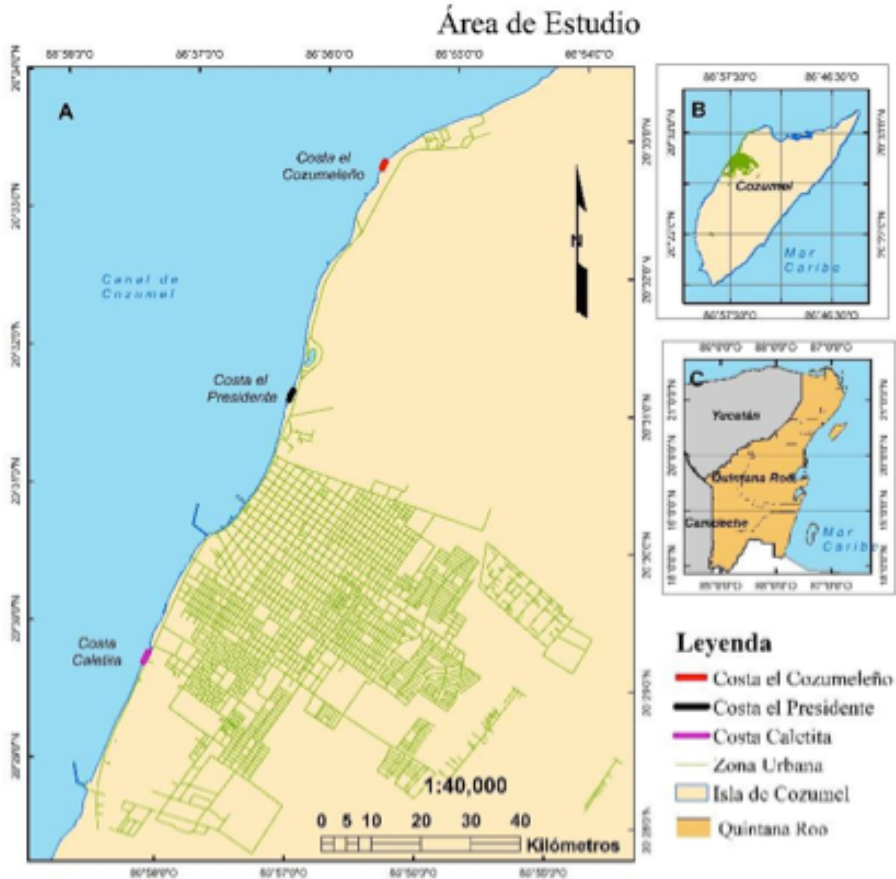
tuyen una fuente de alimento y hábitat para muchos otros grupos que pueden vivir asociados a estos (Núñez Flores et al., 2010), y los patrones de abundancia y distribución en la línea de costa se explican por la interacción de los factores señalados en el párrafo previo (Díaz y Zea, 2008). Por lo tanto, una de las principales amenazas que enfrenta 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).

Por ello, el presente estudio tiene como meta usar la estructura ecológica de las comunidades de *Demospongiae* para conocer el estado de salud de la línea de costa de playas rocosas de Cozumel (con influencia urbana); empleando la ausencia-presencia y cobertura de estas especies encontradas en los sitios.

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. 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, entre las coordenadas extremas de latitud norte a 20° 36' - 20° 16', y de longitud oeste a 86° 44' - 87° 20' (Sectur, 2014; INEGI, 2017; figura 17.1).

Figura 17.1. Playas rocosas analizadas, señaladas en colores rojo, azul y violeta:
a) Áreas de muestreo. b) Isla de Cozumel. c) Península de Yucatán



Fuentes: elaboración propia con base en INEGI (2019), Conabio (2011), Marco Geoestadístico Datum WGS (1984).

El muestreo se dirigió a tres playas rocosas de Cozumel, de enero a diciembre de 2020, considerando las siguientes características: (1) localizadas frente al área urbana de San Miguel de Cozumel, entre los límites norte del área hotelera y sur hasta playa caletita, (2) áreas de libre acceso y (3) áreas localizadas en la sección de barlovento de la isla.

Descripción de los sitios

El cozumeleño: playa de aproximadamente 183 m de largo de costa, con área supra litoral rocosa-arenosa de unos 2 130 m² de superficie y un área cubierta con vegetación de aproximadamente 24 500 m². Se analizó la comunidad de esponjas hasta a una profundidad máxima de 2 m. Considerada como playa pública, con servicios de hospedaje en la Zona Hotelera Norte, en el kilómetro 4.5.

El presidente: esta costa rocosa cuenta con aproximadamente 160 m de longitud litoral. Este sitio no cuenta con servicios ofrecidos hacia el turismo; sin embargo, se encuentra en un área con propiedades privadas cercanas. Las comunidades se analizaron a una profundidad máxima de 2 a 4 m, y cuenta con un área aproximada 2 674 m², en donde yacen ciertos parches con flora sobre la roca.

Caletita: la playa rocosa Caletita cuenta con una línea de costa de 155 m de longitud, cuenta con servicios turísticos, así como el muelle exclusivo para el transporte de vehículos propios y de cargamento, entre las ciudades de Cozumel y Playa del Carmen. La región supralitoral cuenta con un área aproximada de 2 929.84 m² y el área analizada cuenta con profundidades máximas entre 1 a 2 m.

Material y métodos

Se utilizó un transecto perpendicular a la línea de costa, en cada uno de los sitios analizados. La posición del transecto se eligió de manera azarosa en cada playa, en sitios con profundidad que osciló entre 1.5 a 3 m de profundidad; el análisis de las coberturas de cada especie de *Porifera* se llevó a cabo por medio de fototransectos (Ruíz-Pinzón 2009; Aguirre, 2012). Mediante buceo autónomo libre, se obtuvieron imágenes por medio de una cámara deportiva GoPro Hero 7 Silver, fotografiando un cuadrante de 1 x 1 m; los cuales se colocaron a lo largo del transecto, en zig-zag, distanciados entre sí por un m lineal. Las fotografías se colectaron a un metro con respecto al sustrato de donde se posicionó el cuadrante, esto con la finalidad de abarcar toda el área del cuadrante mediante una sola fotografía (Aguirre,

2012). En total se tomaron datos de tres 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 (mínimo) para cada zona.

Cobertura: se obtuvo la cobertura de cada especie/cuadrante con apoyo del software Coral Point Count with Excel extensions (CPCe V4.1). Una vez insertada la fotografía se calibró la imagen para obtener un área total de un m². Después se procedió a realizar el análisis del área y longitud de los organismos de interés, delimitando el área de cobertura de las diversas especies de esponjas por cuadrante. Los resultados obtenidos, fueron usados para realizar una base de datos con el programa Excel para la obtención de la cobertura total (Ruíz-Pinzón, 2009).

Análisis de diversidad: se procedió a determinar la cobertura absoluta/especie/cuadrante. Luego, con los datos de cobertura absoluta, se procedió a la obtención de la cobertura relativa por especie. A partir de todos estos datos se realizaron los análisis de dominancia y diversidad con los índices de Simpson y Shannon y Weaner (Pla, 2006), respectivamente, usando las siguientes relaciones:

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

D = Índice de Simpson

n = cobertura específica (en porcentaje)

N = cobertura absoluta (en porcentaje)

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

H = Índice de Shannon-Weaner

ni = cobertura relativa

ln(ni) = logaritmo natural de la cobertura relativa

Identificación de especies y análisis de material biológico

La clasificación de las especies se realizó tomando en cuenta tres factores, actualmente considerados en guías especializadas de la región del Caribe (Maas-Vargas y Bahena-Basave, 2008; Vega, 2012; Carballo et al., 2014; Ugalde et al., 2015):

1. Observación directa del organismo para determinar el color y la estructura de los organismos *in vivo*.
2. Secuenciación del Gen COI de los organismos, comparando con el banco de datos existentes en Bold Systems (<http://www.boldsystems.org>) y National Center Biotchnology Information NCBI (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) y observación de microestructuras (fibras y espículas) con microscopía de luz.
3. *Secuenciación de ADN*: la colecta de material biológico se efectuó con ayuda de una navaja estéril, cortando una fracción del organismo, menor a 3 cm por lado. El fragmento se colocó en una bolsa plástica con un poco de agua de mar. Todas las muestras biológicas se rotularon con el ID, nombre de la playa, número de transecto, profundidad, color *in situ*, nombre del colector y fecha. Luego el material colectado se colocó en una hielera para su transporte al laboratorio (Vargas, 2019).

Para asegurar el aislamiento y secuenciación del gen COI, el protocolo inició en que, con ayuda de agua destilada, en laboratorio se procedió a eliminar restos de sedimentos o cualquier organismo afiliado al pinacodermo de la fracción de esponja colectada. Se procedió a secar el exceso de agua o mucosidad de la muestra con un paño absorbente estéril (González y Arenas-Castro, 2017). Posteriormente, con ayuda de un bisturí se realizó un corte transversal del organismo tomando una muestra de la parte interior, luego se procedió a insertar cada fragmento de la muestra en placas eppendorf (con capacidad para albergar hasta 96 muestras). Finalmente, se le adicionó el buffer de preservación (etanol concentrado) acorde con Erpenbeck et al. (2007) procurando cubrir todo el tejido y se

almacenaron en refrigeración entre -20 °C a -80 °C (González y Arenas-Castro, 2017).

El aislamiento, amplificación y secuenciación del gen COI se llevó a cabo en el laboratorio de Código de Barras de la Vida de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal. Para ampliar la región de nuestro interés del ADN del gen mitocondrial, que codifica la subunidad 1 de la enzima citocromo c oxidasa (COI), se usaron los primers universales de LCO1490 (5'- GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3' (forward) y HCO2198 (5'- TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAAATCA3' (reverse)).

Una vez obtenidas, la edición de las secuencias se realizó en el programa MEGA11, realizando un alineamiento múltiple de las secuencias con Aling By ClustalW, como mínimo se consideró la alineación de mínimo 600 caracteres. Con esta información se procedió a la construcción del árbol de máxima similitud (Maximum Likelihood Tree) con un total de 500 réplicas, para ubicar a las especies clasificadas, en función de semejanza genética con el banco de datos accesible de Bold Systems.

Observación espículas: Con una fracción del material colectado, se elaboraron al menos tres preparaciones permanentes de cada espécimen, siguiendo la metodología de STODOCU (2017), consistente de aislamiento con ácido nítrico, lavado con agua destilada y decantación. El precipitado se deshidrató con alcohol etílico concentrado al 70, 80, 90 y 96 %, para colocarse sobre un portaobjetos, permitir su secado al ambiente y cubrirse, posteriormente, con resina.

Resultados

El análisis morfológico y genético permitió la clasificación de 13 especies agrupadas en nueve familias, siete ordenes, tres subclases y dos clases de *Porifera*, habitantes de la costa oeste de la Isla Cozumel (tabla 17.1). Por primera vez, para la región analizada, se conocen las secuencias del gen COI de cinco especies habitantes del área analizada: *Agelas tubulata* (Lehnert y van Soest, 1996), *Aiolochoia crassa* (Hyatt, 1875), *Spirastrella* sp., *Xestospongia muta* (Schmidt, 1870) y *Chondrilla caribensis* (Rützler, Duran y Pian-toni, 2007).

Tabla 17.1. *Lista de especies de Demospongiae inventariadas en la costa oeste de Cozumel*

Especies	Costa Rocosa		
	1	2	3
Filo: Porifera			
Clase: Demospongiae			
Subclase: Heteroscleromorpha			
Familia Agelasidae			
<i>Agelas tubulata</i> Lehnert y van Soest, 1996	-	X	-
Familia Petrosiidae			
<i>Xestospongia muta</i> (Schmidt, 1870)	-	X	-
Familia Niphatidae			
<i>Niphates digitalis</i> (Lamarck 1814)	X	-	-
<i>Amphimedon queenslandica</i> Hooper y van Soest, 2006	X	-	-
Familia Spirastrellidae			
<i>Spirastrella</i> sp.	X	X	X
Subclase: Verongimorpha			
Familia Aplysinidae			
<i>Aiolochoxia crassa</i> (Hyatt, 1875)	X	X	X
<i>Verongula rigida</i> (Esper, 1794)	-	X	X
<i>Verongula reiswigi</i> Alcolado, 1984	-	X	-
Familia Chondrillidae			
<i>Chondrilla nucula</i> Schmidt, 1862	-	X	-
Subclase: Keratosa			
Familia Thorectidae			
<i>Smenospongia aurea</i> (Hyatt, 1875)	X	X	X
Familia Irciniidae			
<i>Ircinia felix</i> (Duchassaing y Michelotti, 1864)	X	X	X
<i>Ircinia strobilina</i> (Lamarck 1816)	X	-	X
Clase: Homoscleromorpha			
Familia Plakinidae			
<i>Plakortis angulospiculatus</i> (Carter, 1879)	-	X	-

Fuente: elaboración por clasificación propia. Los números representan las playas analizadas: (1) Caletita, (2) El Presidente, (3) El Cozumeleño. Los avistamientos se señalan con "X", y la ausencia con "-".

Descripción de especies observadas (figuras 17.2 y 17.3)

Chondrilla nucula: Esponja incrustante con hábitos crípticos, con crecimiento globular o acojinado. Ósculos dispersos sobre toda la superficie, la cual es lisa y resbaladiza. Color marrón oscuro o crema pálido *in vivo*, tornándose más claro al rodear los ósculos. En etanol, la parte interna se torna a morado mientras se acerca al pinacodermo, y manchas en color pálido en la superficie de éste. Esqueleto con espículas esferaster, con espinas secundarias en las puntas de las primarias. Con unas 25 espinas primarias, en la parte superior en promedio. Se observó habitando sobre coral o roca en playa “El Presidente” a ambas profundidades, con una cobertura relativa de 1.36 %. Se obtuvieron las secuencias Bold: MCM1182-21 y MCMC1178-21 de esta especie.

Agelas tubulata: De tipo tubular, en forma de racimos fusionados a los costados surgiendo de una base en común. Con pseudo ósculos apicales y pequeños ósculos dispersos en la pared interna de la aurícula y en la pared externa. Con superficie lisa, pero rugosa al tacto y comprimible. Esponja amarilla anaranjada a marrón claro en el exterior y anaranjada interiormente. En etanol conserva el color marrón, tornándose hacia el crema en el ectosoma. Esqueleto con acantostilas, con 13-27 hileras de espinas. Con fibras hacia distintas direcciones, con un núcleo de 5 a 6 acantostilas y fibras secundarias más delgadas hacia la superficie. Se registró en las dos profundidades analizadas en “El Presidente” con una cobertura relativa de 0.84 %. Asentada sobre sustrato rocoso. Se obtuvieron secuencias de dos especímenes de esta especie: Bold: MCM1109-21; MCM1169-21.

Aiolochoxia crassa: Esponja masiva a lobular, ósculos dispersos sobre las superficies lobulares y con superficie conulosa irregular en donde sobresalen las fibras con pequeños espacios entre cada cónulo, las crestas que interconectan los cánulos forman pequeñas depresiones poligonales y de consistencia firme. Se observaron tres colores distintos *in vivo*: amarillenta con purpura con dominancia de color purpura, amarillenta tornándose a un color marrón rojizo y amarilla dorado claro. Al conservarse en etanol se torna a un color morado negro, coloreando el etanol al principio en un color morado oscuro, tras varios cambios el etanol se pigmentó marrón

amarillento. En la literatura no se mencionan la presencia de espícula, sin embargo, en este caso se lograron observar entre las fibras. Coanosoma formado por fibras de espongina ramificadas en un patrón dendrítico, divididas en primarias (con una médula) y secundarias. Todos los organismos se encontraron sobre sustrato rocoso. Se observó en los tres sitios analizados, en ambas profundidades. Su cobertura relativa fue de 8.33 %. 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: Esponja ramificada con hábitos crípticos, con ramas cilíndricas, compuestos por masas de forma irregular de tubos cónicos o volcanes en donde se encuentran los ósculos, que a menudo se encuentran alineados longitudinalmente. Superficie finamente canulosa. Se observaron dos colores: marrón y amarillo. En etanol, el espécimen toma un color gris con pigmentos morados. El etanol se torna verde amarillento. Fibras de espongina con reticulación poligonal, sin médula. Se observó sobre sustrato rocoso en las tres localidades en ambas profundidades. La cobertura relativa fue de 0.75 %. El espécimen amarillo se localizó en la costa el Cozumeleño y el espécimen color marrón en las costas Caletita y El Presidente.

Verongula rigida: Esponja masivo a tubular-lobular, los lóbulos se formarán en tubos, cada lóbulo tiene un ósculo apical con diafragmas perforados, los ósculos se encuentran definidos con los bordes lisos en la parte superior, cuanta con cresta laminares o canulosa. Consistencia comprensible y firme, áspera al tacto. Reticulación con mallas alargadas-poligonales, cuenta con médula. El organismo *in vivo* presentó un tono verdoso, asentado sobre sustrato rocoso. Se observó en El Presidente y El Cozumeleño, a una profundidad de 0-1 m. Su cobertura relativa fue de 4.15 %.

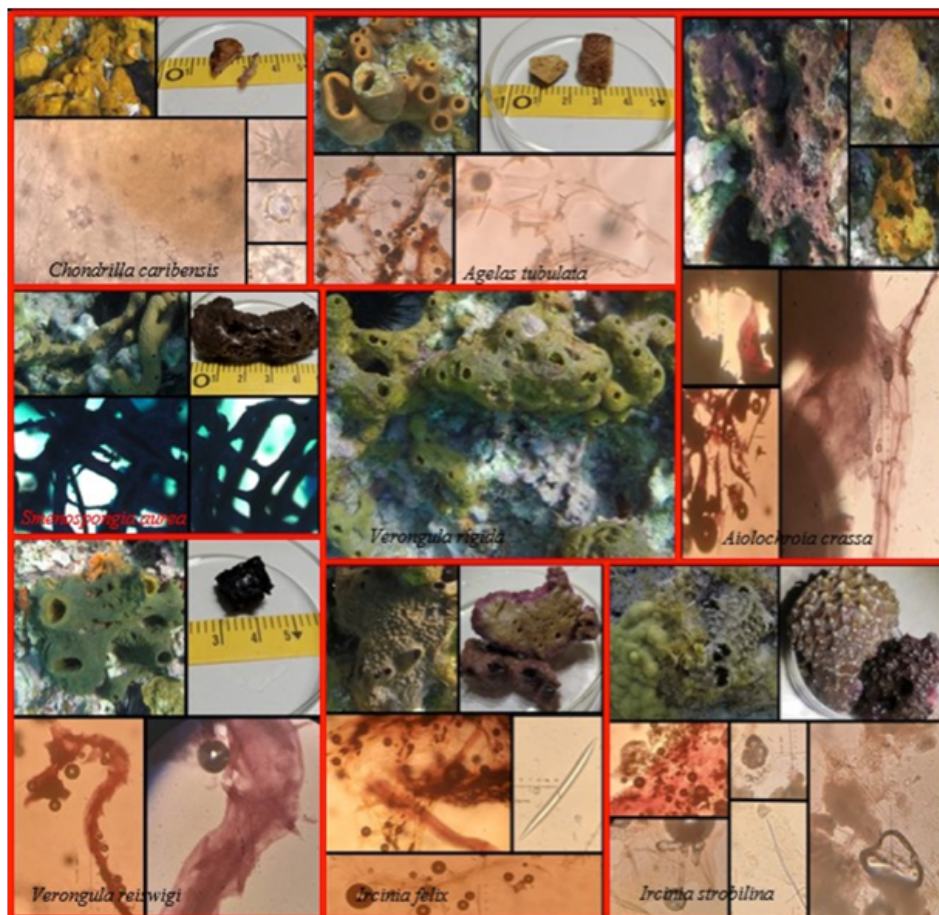
Verongula reisiwigi: Esponja tubular, con forma de jarrón subesférico, con ósculos apicales, los tubos crecen a partir de una base en común. La superficie cuenta con crestas proyectadas paralelas o curvadas u onduladas irregularmente, formando sistemas de depresiones. Se observó *in vivo* en color verde 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 pigmenta en un color marrón amarillento. Se estructura con fibras huecas y granuladas interiormente y fibra con espinas (posible espícula), con una estructura prismática. Se presenció al organismo sobre sustrato rocoso, en el Presidente, a una profundidad de 2-3 m. Su cobertura relativa fue de 0.94 %.

Ircinia felix: Esponja masiva-amorfa, globular con hábitos incrustantes, proyecciones con terminaciones en ósculos dispersos, los ósculos cuentan con membrana, el pinacodermo tiene pequeños canulos con poca distancia entre sí y tiene una consistencia comprimible. Se observó *in vivo* en color marrón beige tornándose más oscuro mientras se acerca al ósculo, e incluso purpura negruzco. El color en etanol se torna a marrón rosado, o gris violáceo, al acercarse al pinacodermo toma un color morado. Mientras el etanol se torna amarillo verdoso claro. Se estructura de fibras de espongina irregulares y pueden contener una carga considerable de granos de arena o restos de espículas en la médula, sin embargo, el material extraño puede estar ausente. Espículas oxeas. El organismo se observó sobre sustrato rocoso y sobre la esponja *Verongula rígida*. Se encontró en las tres zonas de estudios en ambas profundidades. Su cobertura relativa fue de 1.2 %.

Ircinia strobilina: Esponja masivo globular-lobular, con consistencia elástica. Los lóbulos generan pequeñas estrellas de las cuales se encuentran conectados. Ósculos en la parte superior sobre una depresión en la cual se agrupan, entre aproximadamente 1-5 mm de diámetro. De color café o marrón, pero hacia la punta de los lóbulos se tornan más claros y hacia los ósculos se tornan más oscuros. A diferencia de *I. felix* no presenta coloración en el pinacodermo, y con tonos morados dentro de los ósculos. El etanol se torna a un color verde fosforescente. Con filamentos de fibras de espongina finamente ramificadas, a veces granulada, adjunto a material foráneo. También con filamentos de colágeno, con espículas oxeas, tilostilos y triactina. Se apreció al organismo adherido a sustrato rocoso y sobre una pequeña área de coral. Se registró en las playas Caletita y el Cozumeleño, presente en ambas profundidades. Su cobertura relativa fue de 0.04 %.

Figura 17.2. Especies de esponjas observadas en la costa oeste de Cozumel



Fuente: elaboración propia.

Xestospongia muta: 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 gran cantidad de pseudósculos apicales, los ósculos se encuentran dentro del cráter, el pinacodermo es reticulado y rugoso, aunque con un patrón lobulado. Se avistó *in vivo* en color marrón rojizo en la parte externa, dentro de la aurícula se torna a un color purpura o beige pálido. Conservado en etanol toma un color beige. El etanol se torna verde claro. Se compone de espículas de tipo estrongilos con extre-

mos ligeramente curvados, iguales y redondeados. Cuenta con fibras densa y reticuladas que forman mallas redondeadas, compuesta con espículas e incluso las mismas espículas aisladas. Se notó al organismo sobre sustrato rocoso. Logrando avistarlo en la costa rocosa El Presidente, a una profundidad de 2-3 m. Su cobertura relativa fue de 0.07 %. Bold: MCM1118-21; MCM1119-21; MCM1121-21; MCM1125-21; MCM1126-21; MCM1127-21; MCM1128-21; MCM1129-21.

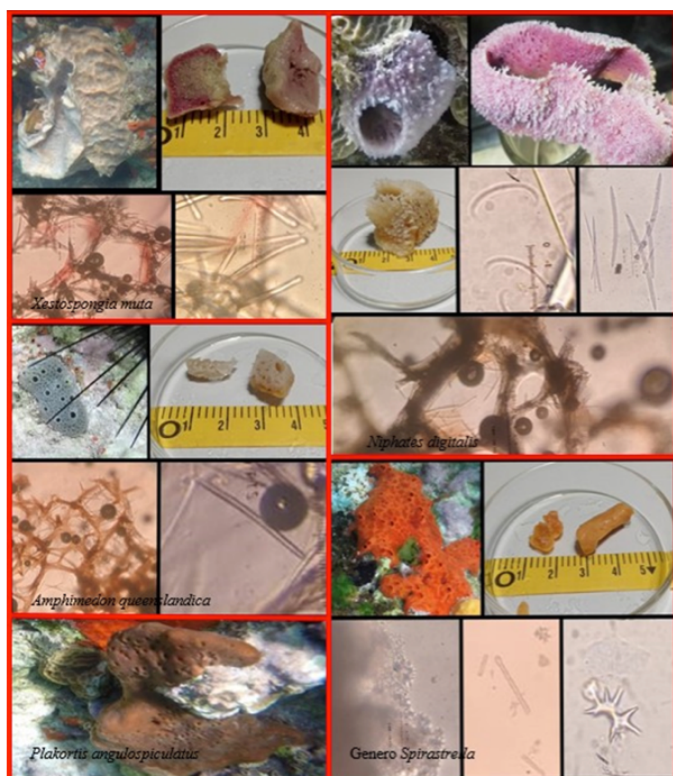
Niphates digitalis: Esponja tipo jarrón o conos aplanado-invertidos. Presenta pseudósculos aserrados por pequeños filamentos, los cuales se encuentran incluso por toda la superficie externa de la esponja como pequeñas espinas rizadas y alveolares, la superficie interior es lisa en ella se encuentran los ósculos, su consistencia es rígida. Su color *in vivo* es malva. Cuando se extrae se torna a un color más pálido. Al conservarse en alcohol se torna blanco. Se estructura por 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. Se apreció al organismo creciendo sobre el coral y sobre sustrato rocoso. Se halló en la costa rocosa Caletita en ambas profundidades. Su cobertura relativa fue de 0.18 %.

Amphimedon queenslandica: Esponja masiva incrustante. Los ósculos se encuentran en 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 translúcido. Siendo de textura comprimible y firme, muy resistente. Se distinguió un color azul grisáceo a verde, con un tono más gris alrededor del ósculo. Al preservarse en etanol toma un color gris amarillento a gris. El esqueleto se integra por megáscletras 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. Se percibió al organismo sobre sustrato rocoso. Se registró en la localidad de Caletita, a una profundidad de 0-1m. Su cobertura relativa fue de 0.01 %.

Spirastrella sp: Esponja incrustante tipo tapete de apenas tres mm de grosor, cuenta con diversas proyecciones rodeadas de un labio membra-

noso 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. Se distingue por un color *in vivo*, naranja brillante, al mantenerse en etanol se vuelve rojo pálido, casi rosa traslúcido, tiñendo el etanol a rojo naranja. Se soporta por espículas tilostilos rectas con un ápice y espirásteres. Se avistó al organismo sobre sustrato rocoso. Se encontró en los tres sitios muestreados, a ambas profundidades. La mayor cobertura la obtuvo en la costa El presidente. Su cobertura relativa fue de 2.1 %. Bold: MCM1154-21.

Figura 17.3. Especies de esponjas observadas en la costa oeste de Cozumel



Fuente: elaboración propia.

Plakortis angulospiculatus: Plano convexo o elíptico con hábitos incrustantes. La superficie es lisa con hoyuelos, uniforme, ósculos conspicuos a ras de la superficie y retraídos en etanol. La consistencia es comprimible. Se avistó *in vivo*, color marrón claro con parches marrón oscuro o verdoso, en la parte interna es de marrón más claro, al acercarse al pinacodermo se torna púrpura. 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. Se contempló al organismo sobre sustrato rocoso. Esta especie tuvo un único registro en la costa El Presidente, registrada a una profundidad de 0-1 m. Su cobertura relativa fue de 0.09 %.

Análisis de ADN

A través de un análisis Blast y considerando la longitud de las secuencias obtenidas, fue posible verificar la clasificación de las especies *A. tubulata*, *Spirastrella* sp., *X. muta* y *Ch. nucula*, debido a que de éstas se obtuvieron secuencias mayores a los 650 pb y se asemejaron con secuencias previamente existentes en el banco de datos de Bold Systems (señaladas con color rojo en figura 17.4). De tal manera que este análisis ayudó a resolver algunas dudas sobre la ubicación taxonómica de estas especies.

Aunque de *A. crassa*, también se logró aislar el gen de la fracción de un ejemplar, la longitud de la secuencia obtenida fue menor a los 500 pares de bases. Probablemente, por ello se alineó con el grupo de *V. reiswigi*; sin embargo, hipotetizamos que este resultado es erróneo, debido a que el tamaño de la secuencia obtenido fue muy bajo y probablemente solo se alineó con este grupo, porque ambas especies pertenecen a la misma familia (*Aplysinidae*), entonces sugerimos sostener la clasificación de *A. crassa* considerando la evidencia morfológica, macro y microscópica descritas aquí.

Biomonitoreo

Los siguientes resultados se sintetizan en la tabla 17.2. La playa El Presidente tuvo una riqueza específica mayor, seguida de Caletita y después por El Cozumeleño. *Agelas tubulata*, *Ch. nucula*, *P. angulospiculatus*, *X. muta* y *V. reiswigi* se registraron exclusivamente en “El Presidente”; mientras que *A. queenslandica* y *N. digitalis* solo en Caletita. En el Cozumeleño no se registraron especies de Demospongiae exclusivas, al compararse con las otras dos playas rocosas analizadas (tabla 17.2).

Las especies con coberturas relativas entre el 3 al 10 % fueron *I. felix*, *S. aurea* en El Cozumeleño; pero *V. rigida* presentó un porcentaje de cobertura del 61 % en el mismo lugar. En El Presidente se observaron hasta cuatro especies con porcentajes de cobertura en el transecto de entre 5 a 18 % (*Ch. nucula*, *Spirastrella* sp., *V. reiswigi*, *I. felix* y *V. rigida*), pero *A. crassa* presentó una cobertura de hasta 40 % en el transecto completo.

En Caletita, la mayoría de las coberturas relativas de las especies presentes fueron menores; oscilando entre 2 a 3 % en especies como *I. strobilina* y *N. digitalis*; los porcentajes de cobertura más elevados los presentaron *S. aurea* y *A. crassa*. Aunque en el Presidente y Caletita *A. crassa* presentó amplias coberturas; en El Cozumeleño, la misma especie presentó una cobertura relativa tan baja de 1 %.

El porcentaje de cobertura total/cuadrante osciló entre 0 a 1.42 % en el Cozumeleño; fue de 0 a 3.22 % en Caletita y fue tan amplio como de 6.06 a 40.8 % de cobertura en cuadrantes de 1 m² en el Presidente.

Debido a la mayor riqueza específica y a la mayor equitatividad en la cobertura de las especies observadas, el mayor índice de Shannon se encontró en la playa el Presidente; seguido de Caletita y, finalmente, el menor índice de diversidad se encontró en la playa el Cozumeleño. En cambio, la mayor dominancia, se observó tanto en Caletita, como en el Cozumeleño (0.44); mientras que la menor dominancia se encontró en el Presidente (0.22).

Tabla 17.2. Porcentaje de cobertura de especies analizadas de costas rocosas de Cozumel

Especies	Transectos de "El Comandante"						Transectos de "El Presidente"						Transectos de "Caleña"									
	1	2	3	4	5	6	C. R.	1	2	3	4	5	6	7	C. R.	1	2	3	4	5	6	C. R.
<i>A. tubulata</i>	-	-	-	-	-	0	0	-	1.7	-	-	4.18	-	-	0.049	-	-	-	-	-	-	0
<i>A. crassa</i>	0.17	-	-	-	-	0.01	0.01	3.16	0.14	38.84	-	-	-	6.4	0.401	0.03	0.2	1.48	2.84	3.5	-	0.6592
<i>A. quezalandica</i>	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0.06	-	-	-	-	-	0.0049
<i>S. aurea</i>	0.97	-	-	-	-	0.092	0.092	1.69	-	-	-	-	-	-	0.014	0.51	-	-	-	1.6	-	0.173
<i>I. strabulina</i>	0.28	0.36	-	1.54	-	0.205	0.205	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	0.26	-	-	0.0212
<i>N. digitalis</i>	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0.42	-	0.065	-	-	0.0382
<i>Ch. nacula</i>	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	0.1	9.48	-	0.079	-	-	-	-	-	-	0
<i>Spirastrella</i> sp.	-	-	0.06	-	-	0.01	0.01	5.16	1.11	1.99	0.14	0.23	0.74	2.16	0.095	-	-	-	0.06	-	-	0.0049
<i>V. retirogi</i>	-	-	-	-	-	0	0	6.6	-	-	-	-	-	-	0.055	-	-	-	-	-	-	0
<i>I. felix</i>	-	0.32	-	-	-	0.031	0.031	-	-	-	1.03	0.59	1.43	3.59	0.055	0.92	0.02	0.13	-	-	-	0.0974
<i>P. anguloplicatus</i>	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	0.62	-	-	0.005	-	-	-	-	-	-	0
<i>V. rigida</i>	-	-	-	-	6.04	-	0.616	-	-	-	-	-	-	22	0.182	-	-	-	-	-	-	0
<i>X. muta</i>	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	4.89	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	0
Cobertura por cuadrante	1.42	0.68	0.06	1.54	6.04	0		14.92	4.64	40.83	6.06	8.67	11.65	34.16		1.58	0.7	1.61	3.22	5.1	0	
Cobertura absoluta por transecto	9.74							120.93								12.21						
H'	1.07							1.81								1.14						
D	0.44							0.22								0.44						

Se muestra los porcentajes de cobertura por cuadrante de cada especie (m^2), la cobertura absoluta de las esponjas por transecto, la cobertura relativa/especie/plya (C. R.) la diversidad de Shannon-Weaver (H') y la dominancia de Simpson (D) por transecto. Fuente: Elaboración Propia.

Discusión

El Dr. Gerardo Green fue el primer mexicano en realizar investigación en materia de biodiversidad del filo *Porifera* en el país (Carballo et al., 2014). En 1986, Green realizó estudios taxonómicos en las costas rocosas de islas de la Bahía de Mazatlán Sinaloa, generando la clasificación de 11 especies de esponjas, así como la sistematización de características físicas de la zona (Green y Gómez, 1986).

Aunque es un grupo con una diversidad potencial elevada en áreas costeras tropicales, aún se consideran como escasas las publicaciones relacionadas con la clasificación de esponjas en Quintana Roo (Maas-Vargas y Baheña-Basave, 2008), así también poco se ha evaluado su uso como indicadores ambientales de la línea costera en el estado. Adicionalmente a esto, constituye uno de los grupos con menor cantidad de secuencias genéticas conocidas para el planeta, con apenas el 0.4 % del total (www.boldsystems.org).

Las esponjas marinas se reconocen como uno de los grupos de invertebrados con más dificultad de estudio por su plasticidad fenotípica y por la falta de sistematización en el conocimiento de caracteres diagnósticos (Schmitt et al., 2005). Por ello, es fundamental contribuir a la clasificación de las esponjas complementando toda la información que se obtiene de los organismos vivos y de su material esquelético, con su información genética, para transitar hacia una taxonomía que cada vez integre mayor cantidad de evidencia.

Ocasionalmente, dos especies diferentes de esponjas pueden parecer la misma si se desarrollan en el mismo ambiente, incitando al desarrollo de enfoques moleculares (Ariza Pérez, 2017; Erpenbeck et al., 2007). Hasta donde tenemos conocimiento, con este trabajo por primera vez se contribuye con la información genética almacenada en el gen COI, de esponjas habitantes de Cozumel, Quintana Roo. En este trabajo, la información de secuencias de ADN está apoyada con información esquelética y morfológica, con lo que se generó un mejor sustento en la clasificación de las especies.

En acuerdo con la propuesta de Ariza-Pérez (2017), también se sugiere realizar análisis de Blast para integrarse a otros métodos de clasificación, 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. Sin embargo, también 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).

Adicionalmente al hecho de que la óptima clasificación de las esponjas, podría fundamentar observaciones de tipo ecológico realizables en el área costera, es posible usar la información genética no solo para facilitar la clasificación (Ariza-Pérez, 2017), sino también para determinar si existe especiación críptica (Pöppe et al., 2010; León-Pech, 2015) o escudriñar las relaciones filogenéticas de estos organismos en el Caribe (Erpenbeck et al., 2007) o incluso revalorar el uso de las evidencias morfológicas, como indicadores evolutivos en el grupo (Cárdenas et al., 2011).

Por otra parte, tomando en consideración el uso de las esponjas desde un punto de vista ecológico, es importante señalar que Carmona-Islas et al. (2019) encontró mayor riqueza específica en sitios del Golfo de México que se encontraban entre 1 a 15 km de la costa, mientras que los sitios con menor riqueza de esponjas e invertebrados bénticos fue junto a la línea de costa, inventariando solo dos especies. Contrario a esto, y de manera afortunada, podemos afirmar que, en la línea de la Costa Oeste de Cozumel, aún se encuentran como mínimo seis especies de esponjas, distribuidas en las tres zonas de estudio.

El autor previamente mencionado, relaciona la baja riqueza de estos organismos bentónicos en la línea de costa al mayor efecto antrópico, pues aparentemente puede ser más altamente impactada, por el crecimiento de las zonas urbanas y portuarias con un importante aporte de sedimentos.

Romero et al. (2013) sugieren que para el desarrollo diverso y equitativo de esponjas marinas deben existir condiciones ideales tales como la presencia de fuertes corrientes, baja turbidez, poca influencia de oleaje y salinidad óptima; 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 de mayor cobertura en el área estudiada son las de hábitos incrustantes siendo las que dominen el

sustrato, a diferencia de las esponjas expuestas. Romero et al. (2013) aluden que las escasas corrientes y el poco dominio de oleaje dificultan 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 origina 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, porque los organismos bénticos llegan a cubrirse casi en su totalidad por arena, y la poca corriente del fondo marino logra descubrir pocas áreas en que aún habitan las esponjas (observación personal). 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 presentó 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 las mismas.

Además, las esponjas incrustantes observadas, en comparación con las esponjas expuestas aparentemente son más resistentes a los embates de los huracanes, según lo expuesto por Carballo et al. (2014). Pues bien, las presiones ambientales, particular de los biotipos arrecifales de esta región, pueden influir en la estructura y composición del grupo. Estos fenómenos no afectan a las esponjas incrustantes, pues el fracturarse por una corriente intensa es un suceso poco usual, debido a que estas esponjas tienen una forma aplanada que cubre el sustrato.

Entonces, en las profundidades analizadas aquí (entre 1 a 3 m) se observó el predominio de especies 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). Sin embargo, la riqueza específica, diversidad y equitatividad observadas en esta zona del Caribe fueron mayores a las conocidas para áreas con condiciones estructurales semejantes del Golfo de México.

Por otro lado, Pawlik et al. (2008) determina que la abundancia se ve favorecida en especies que no se defienden químicamente, debido que esta defensa requiere de un gasto energético y éste se obtiene a cambio del crecimiento y la reproducción. Entre las especies encontradas en este estudio, señaladas como que se defienden químicamente se encuentran *I. estrobilina* e *I. felix*, lo cual probablemente es un factor que explicaría la baja cobertura de especie/cuadrante observada en estas dos especies.

López (2013) menciona que los indicadores ecológicos en estudios con esponjas han tenido éxito al discriminar las zonas más contaminadas de las no contaminadas. A causa de la contaminación a nivel de comunidad la cobertura de las esponjas se ve disminuida, dado que este factor favorece a especies resistentes, pero provoca reducción de sus densidades (cobertura).

Esto se refleja en nuestros resultados, en el caso de playa Caletita, la cual es conocida por contar con alta influencia de visitantes, así como una terminal marítima cercana en constantes maniobras. Además, Sánchez y Pinto et al. (2015) encontraron que dos afluentes de aguas que desembocan directamente en Caletita se encuentran conectados por un pasaje subterráneo de 186 m, hacia un sistema que influye con descargas de materia orgánica disuelta, nutrimentos y sedimentos hacia la línea de costa.

Por lo tanto, hipotetizamos que a escala local los mencionados factores pueden contribuir a la menor riqueza y diversidad de esponjas en Caletita. A diferencia de la Costa el Presidente, en donde se tiene mínima influencia de personas y una desembocadura de agua de lluvia, procedente de la pista del aeropuerto internacional de Cozumel. Cabe señalar que aproximadamente a 598 m de distancia se encuentra un Puerto de Abrigo, el cual puede albergar aproximadamente 160 embarcaciones pequeñas y medianas, y a través de ellas se podrían generar otros agentes que pudiesen causar algún impacto, aún no evaluado.

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.

Contar con una buena cantidad de información sistematizada, referente a la estructura básica de estas comunidades en la línea de costa (o los cambios

que sufriría detectados a través de monitoreos) es fundamental en áreas con influencia urbana, debido al rol de las *Demospongiae* en las zonas que habitan, ya que juegan un papel como alimento para otros organismos bénticos, guarida; pueden mostrar la erosión de los arrecifes por su participación en los procesos biogeoquímicos (nitrógeno, carbono y sílice), así como por lo rápido de sus respuestas en función de cambios en el ambiente.

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].
- 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].
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018318>
- Carballo, J. L., Gómez, P., y Cruz-Barraza, J. A. (2014). Biodiversidad de porífera en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 143-153. <https://doi.org/10.7550/rmb.32074>
- 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 <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2741>
- 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].
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2011). *Zonas Ecológicas Exclusivas de México*. Limite Nacional. Escala 1: 250 000. CONABIO.
- 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. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2008.37.2.189>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S0025315407058195>
- Gili, J. M. (1998). Ecología trófica de algunas especies de suspensívoros bentónicos sésiles en el mar de Weddel. Un programa CS-EASIZ.
- González M. A. y Arenas-Castro H. (2017). *Recolección de tejidos biológicos para análisis genéticos* (33 pp.). D. C., Colombia. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- 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. <https://doi.org/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. *Biodiversitas*, 130, 7-11.
- 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.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095130.pdf
- (2019). Marco Geoestadístico. Estados Unidos Mexicanos. Escala 1:4 000 000.
- 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. <https://doi.org/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.
- Maas-Vargas, M.G. y Bahena-Basave, H. (2008). Esponjas marinas (Porífera: Demospongiae). En L. M. Mejía-Ortiz (Ed.), *Biodiversidad Acuática de la Isla de Cozumel* (pp. 151-161). México: Plaza y Valdés, Universidad de Quintana Roo.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009950>
- 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.
- 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 Aplysiniidae (Verongida, Demospongiae). *Journal of Molecular Evolution*, 60(3), 327-336. <https://doi.org/10.1007/s00239-005-6111-8>
- Studocu. (2017). Practica 2 Técnica para aislar Espículas de Esponjas. *Manuel de actividades experimentales*. <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-del-litoral/biologia/trabajos-practicos/practica-2-tecnica-para-aislar-espículas-de-esponjas/2976625/view>.
- Secretaría de Turismo. (2014). Agendas de competitividad de los destinos turísticos de México 2013-2018. Cozumel, Quintana Roo: SECTUR. <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/PDF-Cozumel.pdf>.
- Torruco Gómez, D. y Gonzales Solís, A. (2010). Invertebrados. Diversidad faunística. Las esponjas y su importancia. En R. Durán y M. Méndez (Eds.), *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. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3911.2.1>
- 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].
- Vega J. C. (2012). *Composición y afinidades biogeográficas de esponjas (Demospongiae) asociadas a comunidades coralinas del Pacífico mexicano* [Tesis de Doctorado] Instituto Politécnico Nacional.
- 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. <https://doi.org/10.7550/rmb.42628>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s13127-015-0247-1>
- Voigt, O., Wulffing E. y Wörheide, G. (2012). Molecular Phylogenetic Evaluation of Classification and Scenarios of Character Evolution in Calcareous Sponges (Porifera, Class Calcarea). *PLoS ONE*, 7(3), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033417>

