

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Posgrado en Ciencias del Agua.

Diversidad de fauna asociada al sargazo (*Sargasum fluitans* y *Sargasum natans*) y su relación con las características físicas del agua en el norte del Caribe mexicano

Tesis que presenta:

Helder Abraham Berzunza Pasos

En opción al título de:

MAESTRO EN CIENCIAS DEL AGUA

Directores de Tesis:

Dr. José Adán Caballero Vázquez

Dr. Gilberto Acosta González

Cancún, Quintana Roo, enero 2024.

DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos, los Resultados y Discusión de este documento, proviene de las actividades de investigación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma:  _____

Helder Abraham Berzunza Pasos



RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de **Helder Abraham Berzunza Pasos** titulado "**Diversidad de fauna asociada al sargazo (*Sargasum fluitans* y *Sargasum natans*) y su relación con las características físicas del agua en el norte del Caribe mexicano**" fue realizado en la Unidad de Ciencias del Agua, en la línea de investigación sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos, en los laboratorios de Ecología y Biodiversidad de Organismos Acuáticos, Unidad de Ciencias del agua del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección del **Dr. José Adán Caballero Vázquez** y la codirección del **Dr. Gilberto Acosta González**, perteneciente al Programa de Posgrado en Ciencias del Agua de este Centro.

Atentamente



Dra. Cecilia Hernández Zepeda
Directora de Docencia

Mérida, Yucatán, México, a 24 de enero de 2024

Agradecimientos

Agradezco al Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán (CICY) Unidad de Ciencias del Agua, por permitirme llevar a cabo mis estudios de Maestría y contribuir con mi formación académica. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Antes CONACYT, ahora CONAHCYT), por otorgarme una beca de Posgrado del programa 003065 para la realización de esta investigación con CVU 444381. Al proyecto “Estudios técnicos de caracterización de sargazo orientados a la generación de normatividad asociada a riesgos y a su potencial aprovechamiento productivo (305292; Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo en Ciencia Navales SEMAR-CONACYT)” para realizar estas tesis.

Al Laboratorio de Ecología y Biodiversidad de Organismos Acuáticos, de la Unidad de ciencias del Agua por abrirme las puertas, brindarme el apoyo, el material y las herramientas necesarias para poder elaborar mi proyecto de tesis.

A mis directores de tesis, Dr. Gilberto Acosta González y Dr. José Adán Caballero Vázquez por aceptar Ser mis directores de tesis, por que creyeron en mí, por su apoyo incondicional y por darme la confianza para llevar a cabo este trabajo. Por sus aportaciones, comentarios, sugerencias y correcciones. Sobre todo, por su paciencia sé que mi redacción y forma de escribir es diferente, Por sus consejos, enseñanzas y paciencia, me permitieron crecer tanto personal como profesionalmente.

A la Dra. Rosa María Leal Bautista, la Dra. Dra. Jazmín Deneb Ortigosa Gutiérrez y la Dra. Maricarmen García Rivas por formar parte de mi comité sinodal y realizar correcciones y comentarios a este trabajo, sus puntos de vista muchas veces cambiaron mi perspectiva y mejoraron este estudio.

Un agradecimiento especial al M en C Jorge Carlos Peniche Pérez, que me abrió las puertas del laboratorio y de sus conocimientos, sin su apoyo no habría podido identificar tantas especies y lograr los resultados que se obtuvieron, igual forma proporcionó el material y la ayuda necesaria para el procesamiento de muestras dentro del Laboratorio, con tus comentarios, correcciones y disciplina ayudo a mejorar este trabajo. Al M. en C. José Epigmenio Bautista García, quien ayudo en la logística y trabajo de campo.

Finalmente, al equipo de trabajo de me ayudo a procesar e identificar las muestras, al M en C Jaime Alejo, por su apoyo en la identificación de especies, y al equipo de estancias profesionales, Daila Sosa, Fernanda Polanco, Allan Chi y Sheila Vázquez, su trabajo siempre supero las expectativas gracias por todo.

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi compañera de vida, apoyándome e impulsándome a seguir aun cuando no se veía ninguna oportunidad, por tu impulso, aliento, y apoyo en buscar algo que creí lejos de mi alcance, tu apoyo a lo largo de todo el proceso aun cuando el proceso fue lento Y sigue siendo el mejor motor de todos gracias por ser esa persona especial

A mi hijo aquí te demuestro que puedes lograr lo que te propongas, aunque sea un camino difícil y con muchas desviaciones, al cabo es lo que deseas y te apasiona

Finalmente, a mi familia porque sin ella todo estaría muy solo, y triste, gracias por estar en mis inicios y mis finales enseñarme a buscar mis sueños

Lista de Tablas

Tabla 1. Sitios de colecta, identificación y coordenadas geográficas de cada sitio.	28
Tabla 2. Abundancia de los crustáceos por temporadas, La abundancia es el número total, de organismos registrados.....	38
Tabla 3. Abundancia de cordados (peces) por temporadas.	40
Tabla 4. Abundancia de moluscos por temporada.	43
Tabla 5. Abundancia de los órdenes <i>Anélidos</i> , <i>Echinoderma</i> , <i>Turbelaria</i> y <i>Platelmitha</i> por temporadas.....	45
Tabla 6. Determinación de los sitios de colecta y los parámetros fisicoquímicos obtenidos en cada sitio.	51
Tabla 7. Resultados y comparación de especies y abundancias por sitios y por estudios publicados.	53
Tabla 8. resultados del análisis PERMANOVA.	63

Lista de Figuras

Figura 1. Corrientes del atlántico (tomado y modificado de Sissini <i>et al</i> , 2017).	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 2. Área de estudio (Tomada de Rodríguez-Martínez, 2008).....	22
Figura 3. Diagrama de diseño metodológico.....	24
Figura 4. Detalle de a caracterización de diversidad asociada al sargazo.....	25
Figura 5. Red de mango largo utilizada para la colecta de sargazo.	26
Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo de recolecta de sargazo dentro del área de Puerto Morelos.	27
Figura 7. Diagrama de trabajo y parámetros fisicoquímicos y su análisis.....	29
Figura 8. Lavado del sargazo y separado de la diversidad asociada.	31
Figura 9. Tren de tamizado y proceso de separación de la fauna asociada y tamizado de muestras de sargazo.	32
Figura 10 Identificación del pez sargazo (<i>Histrío histrío</i>), especie endémica del Mar de los Sargazos.	33
Figura 11 . Identificación y conteo de diferentes especies presentes en una muestra.	33
Figura 12. Proceso del objetivo comparación de la diversidad en distintas regiones publicado en distintos estudios.	34
Figura 13 . Abundancia de crustáceos con las especies dominantes en la temporada 1.	39
Figura 14 . Abundancia de crustáceos con las especies dominantes en la temporada 2.	39
Figura 15. Abundancia de cordados (peces) temporada 1.....	42
Figura 16. Abundancia de cordados (peces) temporada 2.....	42
Figura 17. Abundancia de moluscos para la temporada 1.	44
Figura 18. Abundancia de moluscos para la temporada 2.	44
Figura 19. Abundancia para los de phylum en la temporada 1.....	45
Figura 20. Abundancia para el conjunto phylum en la temporada 2.	46
Figura 21. Curva de rarefacción temporada 1.....	47
Figura 22. Curva de rarefacción temporada 2.....	47
Figura 23. Índice de diversidad de Shannon-Weiner temporada 1.....	48

Figura 24. Índice de diversidad de Shannon-Weiner temporada 2.....	48
Figura 25. Índice de dominancia de Simpson temporada 1.....	49
Figura 26. Índice de dominancia de Simpson temporada 2.....	49
Figura 27. Análisis de agrupamiento (clúster) como medida de la diversidad beta mediante para la temporada 1.....	50
Figura 28. Análisis de agrupamiento (clúster) como medida de la diversidad beta mediante para la temporada 2.....	51
Figura 29. Análisis de regresión lineal y coeficiente de correlación (R ²) pH y abundancias.	52
Figura 30. Análisis de regresión lineal y coeficiente de correlación de la temperatura y abundancia.	53
Figura 31. Numero de taxas totales reportados por estudios publicados.	60
Figura 32. Análisis de agrupación (clúster) de la diversidad asociada por estudio publicados.	61
Figura 33. Análisis NMDS de los factores de sitios y zona y se marcan las zonas de muestreo Altamar (azul), Antes Barrera (naranja), Después de Barrera (rojo) y Playa (café).	62
Figura 34. NMDS de los factores por zona y temporada, se encuentran etiquetados los sitios por la zona de muestra y las elipses marcan la temporada.....	62

índice

Agradecimientos.....	4
Dedicatoria	5
Resumen	11
Antecedentes	16
Objetivos	19
Objetivo general.....	19
Objetivos particulares	19
Materiales y Métodos.....	21
Área de estudio	21
Metodología general.....	23
Caracterización de la diversidad de fauna asociada al sargazo.....	24
Recolecta de muestras.....	25
Parámetros fisicoquímicos asociadas al sargazo	28
Trabajo de laboratorio y procesamiento de las muestras	30
Lavado de las muestras.....	30
Proceso de tamizado	31
Identificación de las especies.....	32
Comparación de la diversidad asociada al sargazo en diferentes regiones y por autores	33
Análisis estadísticos	35
Resultados	38

Diversidad asociada al sargazo, análisis de riqueza, dominancia y similitud	38
Análisis de diversidad.....	46
Curva de rarefacción	46
Diversidad de Shannon-Wiener	47
Índice de Dominancia	48
Análisis de disimilitud de Bray-Curtis	49
Parámetros fisicoquímicos	51
Comparación de la diversidad asociada al sargazo en diferentes regiones por diferentes autores	53
Análisis multivariado.....	61
Discusión	64
Abundancia de especies	64
Análisis de rarefacción	64
Análisis de diversidad.....	65
Análisis de disimilitud	66
Parámetros fisicoquímicos	66
Análisis estadísticos	67
Conclusiones	69
Bibliografía.....	71

Resumen

El sargazo pelágico es un ecosistema fundamental en la zona del atlántico, representa una zona de protección, refugio y reproducción de muchas especies. Sin embargo, en años recientes, se han identificado zonas de grandes florecimientos de estas algas conformadas principalmente por *Sargassum fluitans* y *S. natans*, lo cual ha provocado que estas floraciones masivas de algas por efecto de corrientes arriben y recalen en costas del Gran caribe y África, afectando drásticamente a nivel ecológico y económico.

El sargazo Pelágico que arriba a las costas del Caribe mexicano es un hábitat importante, con una diversidad de fauna asociada, dadas las floraciones masivas de este hábitat generan interacciones con los distintos hábitats por lo que es importante identificar y determinar la diversidad asociada al sargazo, así como definir si estas asociaciones de fauna influyen en la biodiversidad costera local, y si dichas asociaciones generan una interacción con las especies presentes en el sistema arrecifal. Identificar y caracterizar la fauna asociada a la llegada masivas de sargazo en la zona de Puerto Morelos, Quintana Roo. La colecta de muestras de sargazo se realizó en dos temporadas una en septiembre del 2020 y la segunda Abril-Mayo del 2021, se tomaron muestra en 6 sitios en el 2020 y en 5 sitios relacionados con la barrera anti-sargazo colocadas en esta zona.

Se colectaron en total 16,751 individuos por las dos temporadas de muestreo, las cuales pertenecen un total de 74 taxas, las cuales fueron identificadas a mínimo nivel taxonómico, Existe diferencia en cuanto a la diversidad de especies asociadas al sargazo en una escala espacial, El registro de las 74 taxa registradas en el estudio, es mayor a lo reportado en otros estudios, en el Caribe y Mar de los Sargazo

Palabras clave: Sargazo, fauna asociada, parámetros fisicoquímicos, Caribe mexicano

Summary

Pelagic sargassum is a fundamental ecosystem in the Atlantic area, representing a zone of protection, refuge and reproduction for many species. However, in recent years, areas of large blooms of these algae have been identified, mainly formed by *Sargassum fluitans* and *S. natans*, which has caused these massive algae blooms to arrive and land on the coasts of the Greater Caribbean and Africa, drastically affecting the ecological and economic level.

Pelagic sargassum arriving to the coasts of the Mexican Caribbean is an important habitat, with a diversity of associated fauna, given the massive blooms of this habitat generate interactions with the different habitats, so it is important to identify and determine the diversity associated with sargassum, as well as to define if these associations of fauna influence local coastal biodiversity, and if these associations generate an interaction with the species present in the reef system. Identify and characterize the fauna associated with the massive arrival of sargassum in the area of Puerto Morelos, Quintana Roo. Sargassum samples were collected in two seasons, one in September 2020 and the second in April-May 2021. Samples were taken in 6 sites in 2020 and in 5 sites related to the anti-sargassum barrier placed in this area.

A total of 16,751 individuals were collected during the two sampling seasons, belonging to 74 taxa, which were identified at the lowest taxonomic level. There is a difference in the diversity of species associated with sargassum on a spatial scale. The 74 taxa recorded in the study are higher than those reported in other studies of the wider Caribbean and Sargasso Sea.

Keywords: Sargassum, associated fauna, physico-chemical parameters, Mexican Caribbean

El sargazo pelágico es un ecosistema de gran importancia funcional y fundamental para la biodiversidad en los océanos. Estas grandes masas flotantes de sargazo se reproducen vegetativamente en el océano, proveen un nicho para diversas especies, incluyendo especies endémicas, de importancia ecológica y económica, siendo hábitat para la alimentación, reproducción y crianza de distintas clases de organismos como los invertebrados, tortugas, peces y aves (Pendleton *et al.*, 2014, Brooks *et al.*, 2018; Johns *et al.*, 2020; Putman *et al.*, 2018; Sissini *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019). El sargazo como hábitat, es un ecosistema pelágico de suma importancia, recibiendo esfuerzos de conservación mientras se encuentre en las masas flotantes en la zona del mar abierto del Atlántico (Johns *et al.*, 2020; Sissini *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019). Sin embargo, los arribazones masivos de sargazo en las costas generan serios problemas, creando incidentes e impactos en la zona costera, inclusive causando mortalidad de fauna y de pastos marinos (Rodríguez y Tussenbroek, 2016).

La convergencia de la corriente subtropical del Atlántico normalmente concentra la masa principal de sargazo pelágico en la zona del atlántico norte, formar grandes masas flotantes, tal es el caso del denominado “Mar de los sargazos”, el cual se extiende entre 22°-38° N y 76°- 43° W centrado principalmente entre los 30°N y 60° W (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2017; Sissini *et al.*, 2017). El Mar de los Sargazos, es una isla flotante bien conocido desde las descripciones realizadas por los navegantes y naturalistas en el siglo XIX (Weis, 1968a). El Mar de Sargazo está constituida principalmente por la clase de algas Phaeophyceae, principalmente de las especies *Sargassum fluitans* (Børgesen) (Børgesen, 1914) y *Sargassum natans* (Linnaeus) (Gaillon 1928). Debido a que es una zona de gran importancia ecológica, económica y evolutiva (Laffoley *et al.*, 2011), muchas iniciativas de conservación buscan proteger este hábitat en especial en zonas internacionales (Laffoley *et al.*, 2011)

Sin embargo, no es la única región donde se comienzan a presentar concentraciones masivas de sargazo. A partir del 2010 se registró que, debido a las variaciones de los vientos y los frentes térmicos, se crearon vórtices que concentran y arrastra masas de sargazo. A esta zona de gran acumulación de sargazo se le ha denominado “Nuevo Mar de los Sargazos” (Sissini *et al.*, 2017). Las masas de sargazo son dispersadas por las corrientes hacia la costa de África por un lado y la corriente sur ecuatorial por otro, llevando sargazo hasta las costas de Brasil y a todo el gran Caribe.

El sargazo pelágico, al circular en la corriente sur ecuatorial recibe, en el proceso, grandes cantidades de nutrientes y minerales provenientes de los efluentes del Orinoco y del río Amazonas, creando condiciones para floraciones masivas de sargazo en el Atlántico. Estas floraciones masivas causan afectaciones en los ecosistemas marinos y costeros de forma cíclica (Suárez y Martínez-Daranas, 2018), afectando la industria turística y generando elevados costos para la limpieza de playas (Brooks *et al.*, 2018; Saldaña *et al.*, 2019; Suárez y Martínez-Daranas, 2018).

Se han registrado arribazones masivos en el Atlántico occidental desde la costa brasileña hasta la costa del mar Caribe, incluyendo el Caribe mexicano. En las costas de África, desde Sierra Leona hasta Ghana, creando el Cinturón Verde del Sargazo Atlántico (ASGB, por sus siglas en inglés) (figura 1), con continuidad entre las partes oriental y occidental (Chávez *et al.*, 2020; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2017; Suárez y Martínez-Daranas, 2018). La producción masiva de sargazo es una combinación de reproducción vegetativa y de reproducción sexual del complejo de especies y formas del sargazo, las cuales se ven fortalecido por el incremento de nutrientes y sólidos suspendidos que fomentan el desarrollo de dichas algas en ciclos cortos (Sissini *et al.*, 2017).

La afluencia masiva de sargazo al Caribe mexicano promueven impactos económicos y ecológicos similares a los descritos para otros florecimientos algales nocivos, que generan las marea roja reconocido principalmente por el dinoflagelado *karenia brevis* como los que suceden en Veracruz y la península de Yucatán (Aké-Castillo *et al.*, 2014; Rodríguez Gil *et al.*, 2007). Pese a los efectos negativos registrados del sargazo en las costas, por su llegada, acumulación masiva, descomposición y generación de lixiviados en la costa, el sargazo como hábitat es muy importante para la diversidad biológica de las especies que lo habitan, por ello, es importante identificar y determinar la diversidad biológica asociada al sargazo, las diferencias entre sitios, distancia de la costa, determinar si existen especies invasoras asociadas y determinar los parámetros fisicoquímicos del agua, que pueden tener relación con la diversidad de especies asociadas al sargazo.

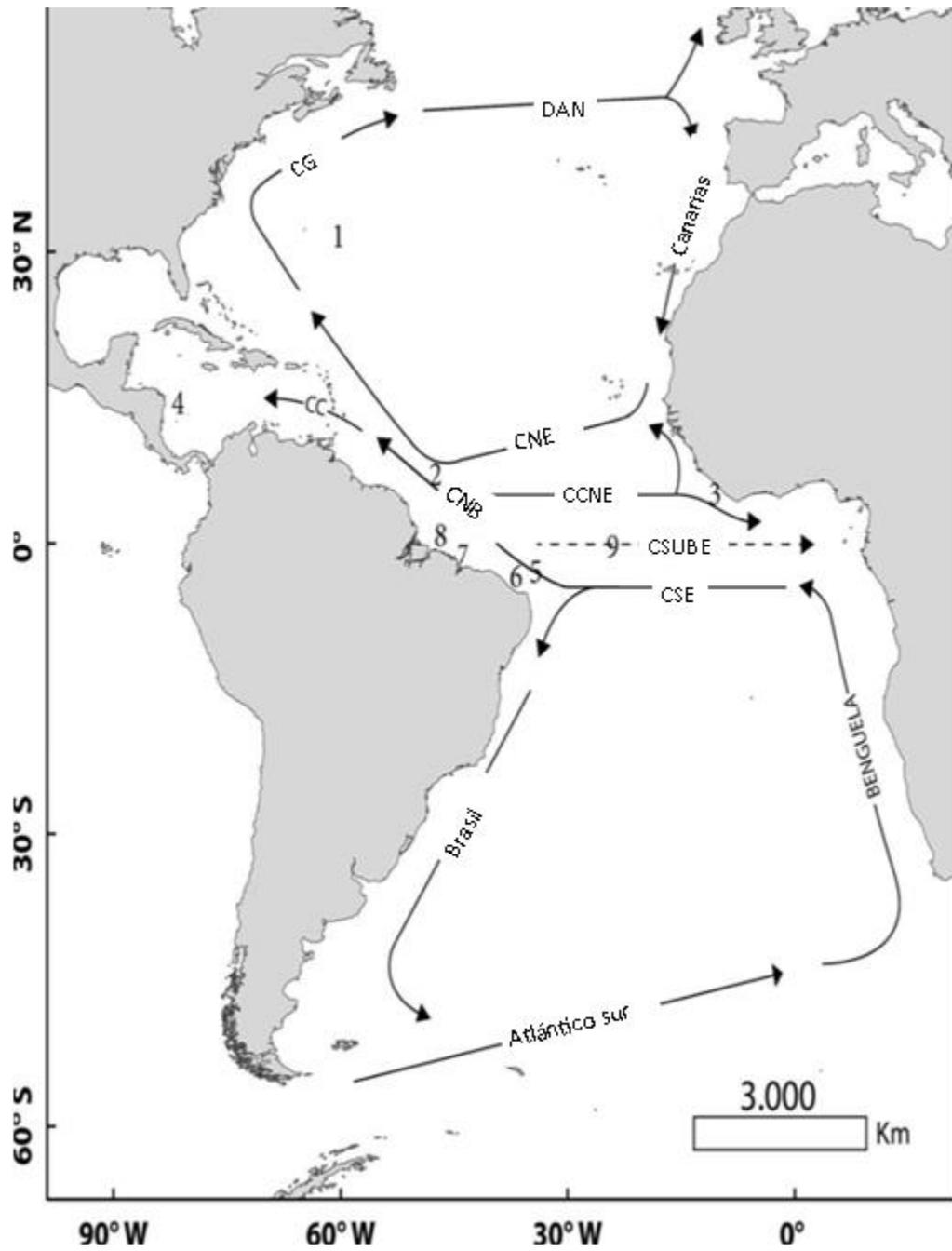


FIGURA 1. Corrientes del atlántico (tomado y modificado de Sissini *et al*, 2017).

Capítulo 1

Antecedentes

El género *Sargassum* es uno de los más abundantes de las algas pardas con especies que se distribuyen en casi todos los océanos. En la zona del Atlántico se presentan solo dos especies (*S. fluitans* y *S. natans*) las cuales tienen un ciclo de vida completamente pelágico lo cual favorece su distribución (Brooks *et al.*, 2018b); *S. natans* se caracteriza por hojas pequeñas y estrechas, estípites ramificados estrechos y vejigas flotadoras la mitad de numerosas que las hojas, mientras que *S. fluitans* muestra una ramificación de orden superior con foliación densa y vejigas típicamente más numerosas que las láminas. Los estípites de esta forma están cubiertos de pequeñas espinas (Fine, 1969; Niermann, 1986; Schell *et al.*, 2015). Éstas especies interactúan formando masas de sargazo que en conjunto forma el sargazo pelágico, las cuales responden a las condiciones climáticas y ambientales (Robledo *et al.*, 2021; Schell *et al.*, 2015).

Las concentraciones de sargazo se desplazan con las corrientes en las regiones tropicales y subtropicales del Atlántico Norte y ocupa una superficie aproximada de 4,164,000 km² (Rodríguez-Muñoz *et al.*, 2021; Sissini *et al.*, 2017). El patrón local de distribución del Mar de los Sargazos parece ser afectado por el viento y frentes térmicos, así como por la acción de las tormentas (Robledo *et al.*, 2021, Butler, 1983, Brooks *et al.*, 2018; Johns *et al.*, 2020; Putman *et al.*, 2018; Sissini *et al.*, 2017), estas corrientes dominantes crean un vórtice que agrupan grandes cantidades de sargazo (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2017), las cuales son llevados por la corrientes y el viento. Parches de sargazo bañan la costa de países africanos y por la corriente sur ecuatorial ricas en nutrientes y minerales provenientes de los ríos Orinoco y Amazonas en la costa sudamericana de Brasil, lo que fortalecen el desarrollo del sargazo. La propagación masiva de sargazo es conducida por la corriente Norecuatorial hasta la corriente del Caribe que finalmente baña las costas de la península de Yucatán (Putman *et al.*, 2018; Robledo *et al.*, 2021; Sissini *et al.*, 2017).

En el año 2011 se comienzan a dar más registros de arribos masivos de sargazo, identificando cambios en los patrones de corrientes superficiales (Suárez y Martínez-Daranas, 2018). Tanto en el año 2011 y 2012, se reportaron llegadas masivas atípicas de sargazo pelágico en las Antillas avanzando hacia Cuba y llegando a la zona del Caribe mexicano, cuyo origen se ubica en la zona central Atlántica, en las zonas de África y

llegando a las costas de Brasil. Para los años 2014 y 2015 se presentaron eventos masivos de arribazón de sargazo en las playas del Caribe mexicano con grandes afectaciones principalmente en las costas de Cancún y Puerto Morelos, teniendo un pico de mayor cantidad de sargazo en septiembre del 2015 (Monroy-Velázquez, Rodríguez-Martínez, Tussenbroek, *et al.*, 2019). De acuerdo con los reportes de SEMARNAT, en el año 2015 en más del 90% de las playas, el sargazo no se removió y su descomposición provoco contaminación y olores fétidos, presumible a la producción de ácido sulfhídrico (H₂S) y otros compuestos orgánicos. Estas afectaciones de mal olor provocaron que el turismo se alejara de las playas, afectando la actividad turística, restaurantera y demás servicios relacionados (Saldaña *et al.*, 2019).

El 2018 fue un año con un incremento en la llegada de sargazo en el Mar Caribe (Johnson *et al.*, 2021; Robledo *et al.*, 2021; Suárez y Martínez-Daranas, 2018). En este año el sargazo registró el mayor registro de arribo a las playas del Caribe mexicano, lo que derivó en un daño importante en la zona costera, por la descomposición de esta alga y la generación de lixiviados, causando cambio el color de las aguas generalmente claras cerca de la costa a un marrón dorado (Tussenbroek *et al.*, 2017), generando la llamada mareas café o marrón, la cual presenta un abatimiento de oxígeno, la mortalidad de fauna, pastos y deteriorando la calidad del agua costera (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2017).

Desde el año 2018 al año 2021, se incrementó la severidad y frecuencia en la llegada de sargazo (Brooks *et al.*, 2019; Robledo *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2019), y cambios en su composición y biomasa (Brooks *et al.*, 2019). En el año 2018 se registró un evento de muerte masiva, donde se registraron 78 especies, en las costas del Caribe mexicano principalmente peces con hábitats neríticos demersales y crustáceos. Durante este evento se registraron concentración altas concentraciones de amonio y sulfuro de hidrógeno en el agua, junto con condiciones hipóxicas (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019).

El Caribe mexicano, es un sitio turístico importante a nivel nacional e internacional. Su biodiversidad, al atractivo de sus playas y arrecifes, así como la infraestructura turística existente generan gran parte de los ingresos económicos locales. Los arribazones se han incrementado hasta convertirse en un problema de carácter social, ambiental y económico de las regiones donde se presenta (Ricardo *et al.*, 2016, Louime *et al.*, 2017, Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019, Oviatt *et al.* ,2019). No obstante, el conocimiento de las causas y las

consecuencias de la llegada masiva de sargazo a la costa ha aumentado gradualmente, la producción, temporadas de llegada, y de su ciclo de reproducción sexual, así como de los reales impactos ecológicos y biogeoquímicos, así como de las propuestas reales factibles para su disposición, manejo y aprovechamiento.

Adicionalmente a los efectos de mal olor y los efectos visuales negativos que se dan por la acumulación masiva de sargazo en las costas, la remoción del sargazo provoca erosión en las playas dependiendo en las condiciones locales de la playa, especialmente en bahías cerradas, marinas y otras estructuras, en adición de la extracción con la maquinaria que retira el sargazo de la playa, se aumenta dicha erosión (Chávez *et al.*, 2020). Sumando a las afectaciones en las zonas con las mareas cafés, afecta la calidad del agua debido los cambios en las condiciones fisicoquímicas, luz, temperatura, oxígeno disuelto, materia orgánica y carga de nutrientes. Finalmente, existen riesgos de la contaminación del acuífero en la península de Yucatán por los efectos de la infiltración de los lixiviados del sargazo (Chávez *et al.*, 2020).

El ensamblaje de fauna asociada al sargazo incluye distintos grupos tales como los epibiontes, así como fauna móvil que va desde la microbiota, hasta peces (Huffard, von Thun, Sherman, Sealey y Smith, 2014), con el establecimiento de especies asociadas como algas hidrozoarios, cirrípedos e invertebrados incrustantes que representan los epibiontes que vive en los talos del sargazo , y crustáceos, moluscos, gusanos y peces que se alimentan de las algas y de estos epibiontes (Muñoz-Bautista *et al.*, 2015). La estructura tridimensional que genera los masas de sargazos provee hábitats en las cuales se ha descrito a nivel mundial alrededor de 100 especies de peces, cuatro especies de tortugas y más de 145 especies de invertebrados, incluyendo especies endémicas (Monroy-Velázquez *et al.*, 2019).

Debido a que el fenómeno de arribazón de sargazo en el Mar Caribe se ha dado en reciente años hay poca información y estudios que determinen la fauna asociada en la zona del Caribe mexicano (Monroy-Velázquez *et al.*, 2019), aunque hay información en varias zonas del Golfo de México, y en el Mar de los Sargazos (Fine, 1969; Huffard, von Thun, Sherman, Sealey y Smith, 2014; Monroy-Velázquez *et al.*, 2019; Rosa Eliza Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019).

Las masas de sargazo pelágico vienen asociadas con una diversidad de fauna asociada, la cual utilizan el sargazo como un hábitat fundamental, estas comunidades al llegar el sargazo a la costa, interactúa con las comunidades de fauna local, por lo que el presente estudio se planteó determinar la variación espacial y temporal de la fauna asociada al sargazo y evaluar la abundancia, riqueza, diversidad, distinción taxonómica y similitud de especies asociadas al sargazo, así como determinar si esta diversidad difiere de la registrada en las masas flotantes en mar abierto ya que algunos de los organismo buscan refugio temporal (Monroy-Velázquez *et al.*, 2019). La importancia de describir la diversidad asociada al sargazo en escalas espaciales y temporales permitirá establecer si se presentan especies con potencial de ser especies exóticas o invasoras, y finalmente determinar si algunos parámetros fisicoquímicos del agua pueden tener relación con la diversidad de especies asociadas al sargazo para entender así la dinámica de este fenómeno.

Hipótesis

La diversidad faunística asociada al sargazo pelágico no presentará variaciones temporales (época climática), ni asociación con los parámetros fisicoquímicos del agua y no mantienen relación con respecto a la distancia a la costa.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar la diversidad faunística asociadas al sargazo, evaluar la relación de la diversidad biológica con la ubicación, temporada y las características fisicoquímicas del agua para la zona costera de Puerto Morelos en el norte del Caribe mexicano.

Objetivos particulares

- Determinar la diversidad de fauna asociada y su relación según ubicación y temporada de sargazo para la zona costera de Puerto Morelos, zona norte del Caribe mexicano.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos en los sitios de recolecta de sargazo y su relación con la diversidad asociada en la zona costera de Puerto Morelos.

- Analizar la variación de la diversidad asociada al sargazo en comparación con otros estudios realizados en distintas zonas relacionado con el sargazo pelágico.

Capítulo 2

Materiales y Métodos

Área de estudio

Puerto Morelos se ubica en las coordenadas 20°51'13"N 86°52'31"O, es el principal puerto, situado al norte del estado en el municipio del mismo nombre y a 36 kilómetros al sur de Cancún. Puerto Morelos es una población costera ubicada en el lado oriente de la península de Yucatán en el Mar Caribe (figura 2), frente a sus costas a una distancia que varía de 350 a 1600 metros se encuentra una barrera arrecifal la cual forma parte del Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental y que es la segunda barrera de arrecifes más grande del mundo (también conocida en una parte como "Gran Arrecife Maya", y pertenece al Sistema Arrecifal Mesoamericano (Merino Ibarra y Otero Dávalos, 1991). Presenta un arrecife bien desarrollado, con crestas y zonas de laguna arrecifal y la costa, se tiene una laguna arrecifal colonizada con varias zonas de pasto marino y macroalgas calcáreas (Merino Ibarra y Otero Dávalos, 1991). Por lo que tiene una comunidad rica y característica de lo que es el Caribe mexicano, (INE-SEMARNAP, 2000). El arrecife de Puerto Morelos se ha aprovechado a lo largo de los años con actividades pesqueras y turísticas de bajo impacto (CONABIO, 2005). Ha sido objeto de investigación y monitoreo por parte de las instituciones académicas que tienen sede en la localidad (INE-SEMARNAP, 2000; CONABIO, 2005).

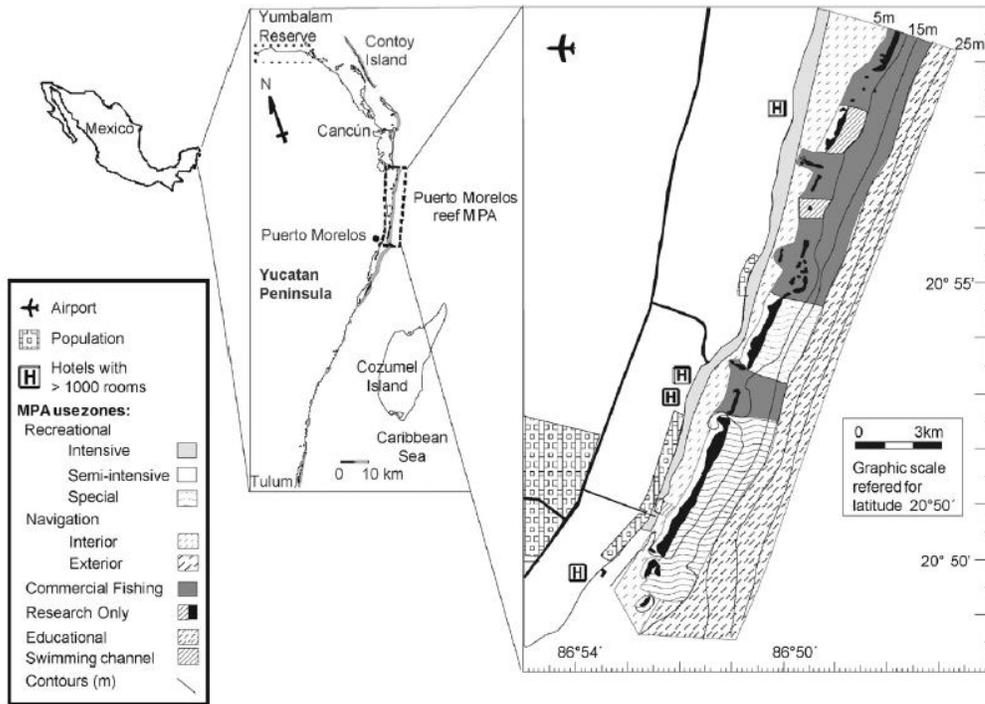


FIGURA 2. Área de estudio (Tomada de Rodríguez-Martínez, 2008).

La zona marina arrecifal de Puerto Morelos es un Área Natural Protegida con área de 9066 ha. Bajo el nombre de Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, se conforma por un arrecife de barrera/laguna arrecifal que está cerca de la costa entre 0.1-2.5 km haciéndola accesible a los visitantes, el arrecife protege una laguna con una profundidad entre 4-6 m, con una arena calcárea y camas de pasto marino, tiene una bien caracterizada zona de cresta arrecifal con una profundidad de entre 6 a 16 m de profundidad. Con terrazas entre los 20 y los 25 m de profundidad (INE-SEMARNAP, 2000).

Sobre la formación arrecifal, al Caribe mexicano le constituyen más de 350 km, de la segunda barrera arrecifal más grande del mundo la cual se extiende hacia el sur por Belice, Guatemala y Honduras logrando una longitud de 1,000 km. El perfil de arrecife que se presenta en casi todo el estado de Quintana Roo, se le conoce como del tipo "bordeante" con tres variaciones: 1) un canal bien definido entre la costa y la cresta arrecifal, 2) un canal incipiente, y 3) sin canal. De esta forma del litoral hacia mar abierto, sobre el eje morfológico, se presentan tres zonas estructurales: a) la laguna arrecifal que se forma sobre el canal b) la cresta arrecifal que es la parte más somera (ó menos profunda) del arrecife y c) el arrecife frontal, que es la parte más profunda.

Sobre la hidrología, por su naturaleza la península de Yucatán y la escasez de suelos, el agua de lluvia se filtra rápidamente a través de la roca caliza hacia el acuífero, siendo el drenaje básicamente subterráneo. El clima es cálido sub-húmedo con una temperatura promedio anual superior a los 26.3 °C, un máximo en el verano de 35.5 °C y un mínimo en invierno de 13 °C. El porcentaje de días soleados en un año es del 41 %, de días medios nublados 41% y de días nublados es del 18%. El periodo de vientos alisios dominantes es entre febrero y julio, le sigue una época de transición entre julio y septiembre, para dar lugar a la época de “nortes” que va de octubre a enero (Merino Ibarra y Otero Dávalos, 1991). La época de huracanes para el océano Atlántico es del junio a noviembre, siendo los meses de agosto, septiembre y octubre los de mayor incidencia (Zapata-Ramírez *et al.*, 2013).

Metodología general

En este estudio se realizaron los muestreos en la zona marina de Puerto Morelos, y un sitio en altamar al norte de isla Pájaros, considerando dos temporadas de muestreo a finales de 2020 y principio 2021. La zona de muestreo en isla pájaros se realizó en una terraza de entre los 20 y los 25 m de profundidad.

El diagrama de trabajo se divide en tres puntos; el primero es la caracterización de la diversidad asociada al sargazo y sus análisis, la segunda son los parámetros fisicoquímicos y su análisis, la tercera es la comparación de la diversidad asociada de diferentes regiones con diferentes autores (figura 3).

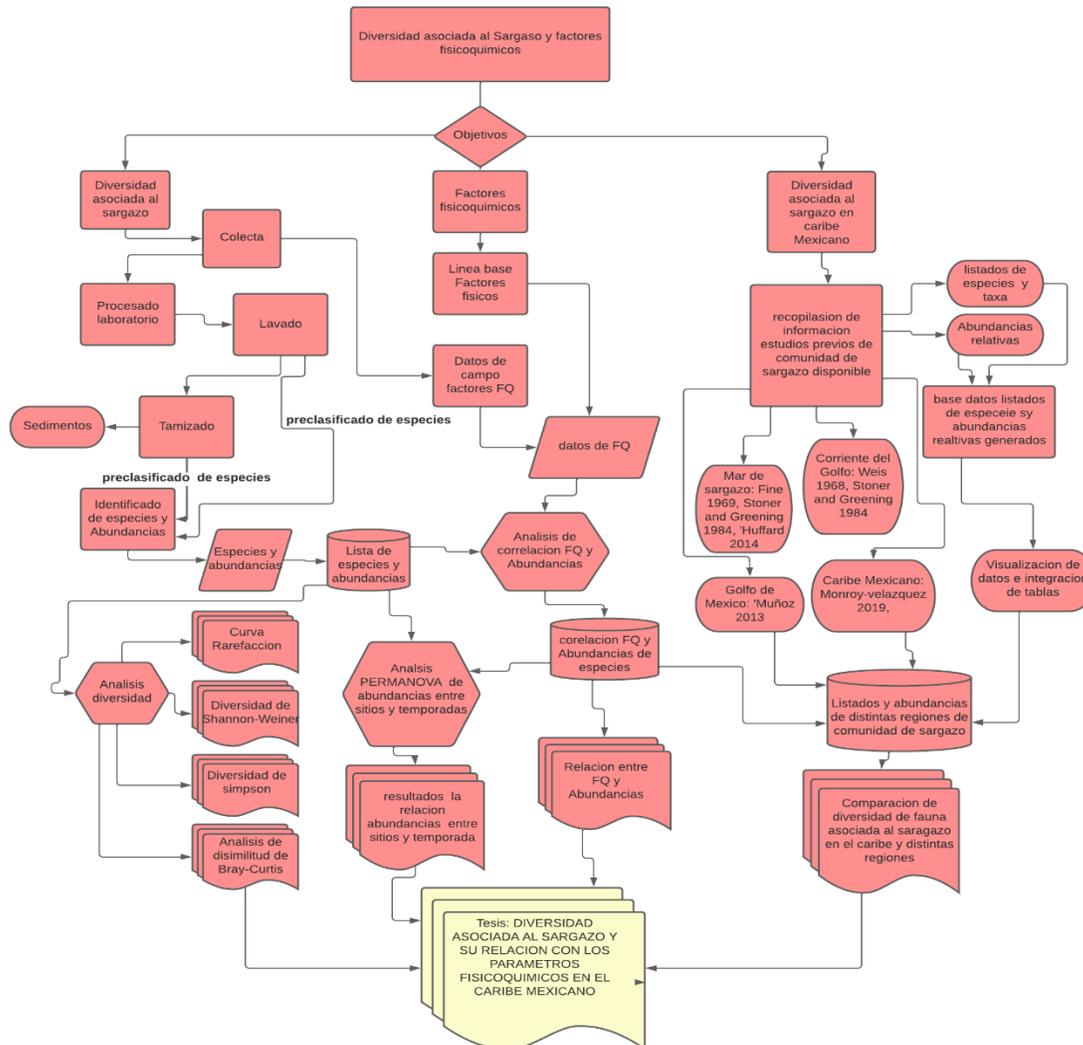


FIGURA 3. Diagrama de diseño metodológico.

Caracterización de la diversidad de fauna asociada al sargazo

El cumplimiento de los objetivos inicia con la caracterización de la diversidad asociada al sargazo, la recolecta, procesado de muestra de sargazo, tamizado y finalmente el proceso e clasificado e identificación de especies (figura 4).

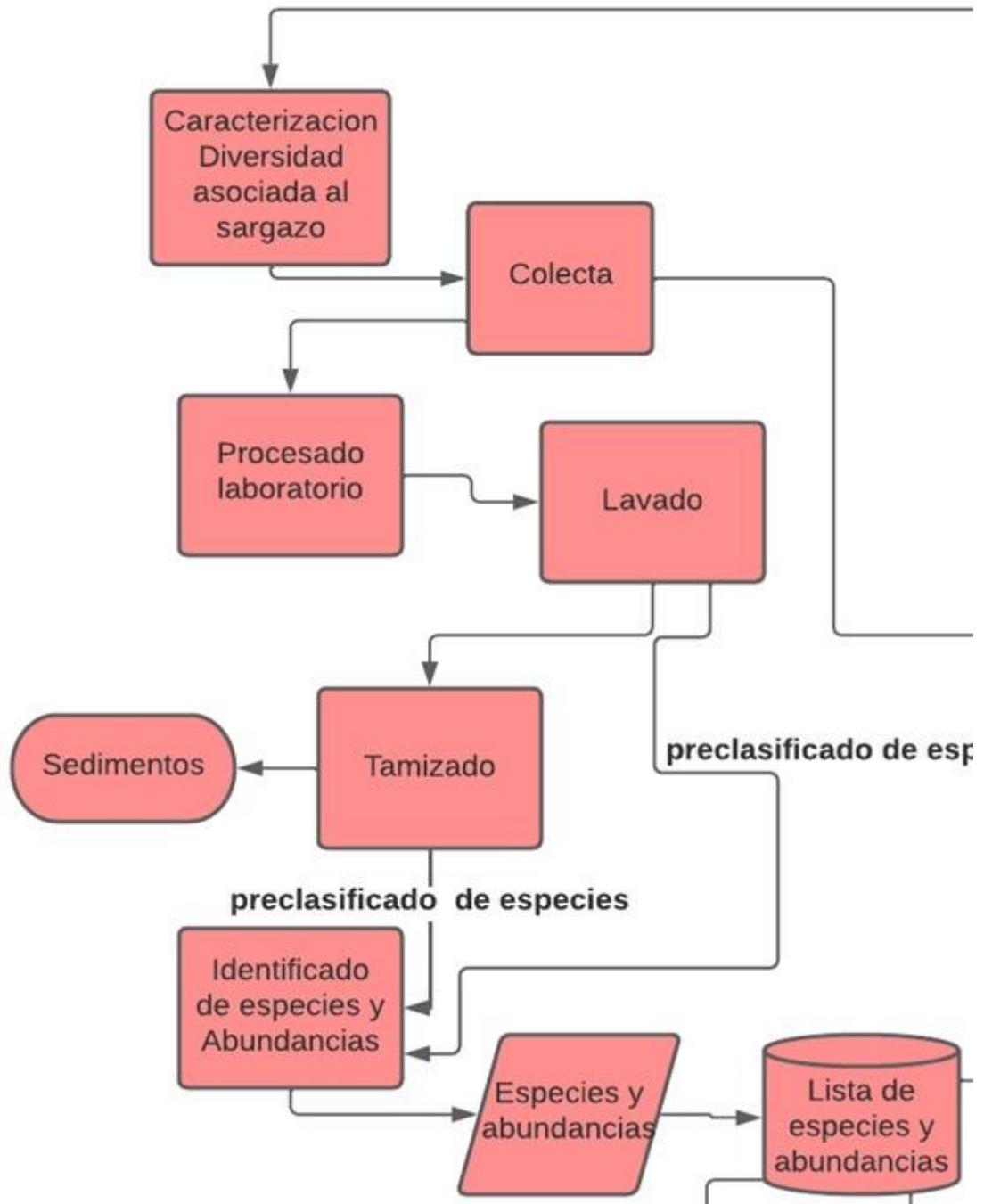


FIGURA 4. Detalle de a caracterización de diversidad asociada al sargazo.

Recolecta de muestras

En la primera temporada de muestreo se realizaron seis colectas del sargazo en la zona de Puerto Morelos e isla Pájaros. Las muestras se realizaron en denominados como Altamar, Antes barrera, Después barrera. En el segundo periodo se muestrearon cinco sitios en;

Altamar, Antes Barrera, Después Barrera y Playa. En cada sitio se recolectaron tres muestras, con excepción de un sitio, en donde solo se pudo recolectar una muestra debido a condiciones meteorológicas. Los restantes sitios se recolectaron dos muestras con dos réplicas por sitio.

Para las recolectas se utilizó una red de mango largo con una luz de malla de 0.1 mm, obtenido una muestra de sargazo entre 12-15 kg, las cuales se colocaron en bolsa de plástico de 15 kg y se etiquetan con los datos de fecha, lugar, sitio y replica (figura 5). En cada sitio se tomaron los parámetros fisicoquímicos de superficie de: pH, temperatura y conductividad mediante una sonda multiparamétrica marca HANNA modelo HI 9828.



FIGURA 5. Red de mango largo utilizada para la colecta de sargazo.

Los sitios de muestreo en las dos temporadas fueron determinados en referencia a la barrera de control (barrera anti-sargazo establecida en la zona como estrategia de contención y control para el arribazón de sargazo), la cual se coloca de forma perpendicular a la costa.

Los sitios de muestreo se presentan en la tabla 1, los cuales se ubican del punto más lejano de la costa al punto más cercano, nombrados respectivamente temporada 1 “PBDB, PBAB, AS1, AS2, AS3, AS4”. Para la segunda temporada “Altamar, Antes Barrera, Después Barrera y Playa respectivamente (figura 6).

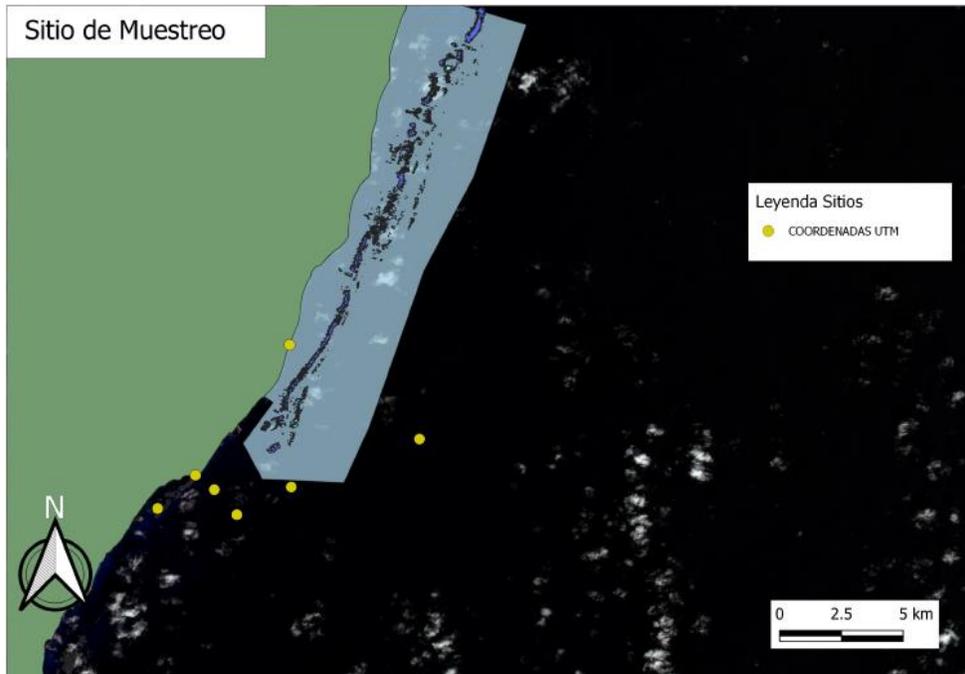


FIGURA 6. Ubicación de los sitios de muestreo de recolecta de sargazo dentro del área de Puerto Morelos.

En la primera etapa comenzó: la toma de muestras análisis de diversidad y análisis fisicoquímicos se realizan el proceso de toma de muestra, separación e identificación de especies, captura de los parámetros fisicoquímicos, proceso de análisis de diversidad,

Tabla 1. Sitios de colecta, identificación y coordenadas geográficas de cada sitio.

SITIOS	ID SITIO	LONGITUD O	LATITUD N
Antes de Barrera	AB	86° 53' 55.13"	20° 48' 25.68"
Después de Barrera	DB	86° 53' 23.40"	20° 47' 50.53"
Playa (sobre playa y a 1.5 m de profundidad)	PL	86° 52' 09"	20° 51' 47"
Altamar (Punta SAM, Cancún Quintana Roo), se muestrearon 4 sitios	AL-S4	86° 36.003'	21° 22.118'
Altamar (Puerto Morelos)	AL	86° 36' 0.20"	21° 22' 7.05"
Antes de Barrera (Puerto Morelos)	AB	86° 54' 16.2 "	20° 48' 33.6"
Después de Barrera (Puerto Morelos)	DB	86° 55' 14.2 "	20° 47' 59.4"
Playa (sobre playa y a 1.5 m de profundidad, Puerto Morelos)	PL	86°54'21.41"	20°48'45.76"

Parámetros fisicoquímicos asociadas al sargazo

Para el cumplimiento del objetivo del análisis de los parámetros fisicoquímicos se estableció en la metodología el siguiente diagrama de trabajo (figura 7).

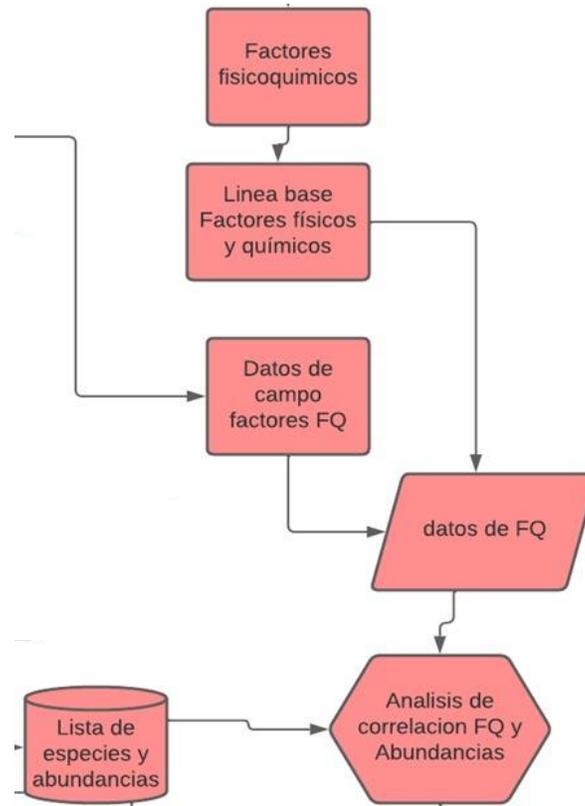


FIGURA 7. Diagrama de trabajo y parámetros fisicoquímicos y su análisis.

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre datos de parámetros fisicoquímicos de años anteriores realizados en la zona de estudio (Merino y Otero, 1991), el Plan de manejo de la Parque Natural de Puerto Morelos (INE-SEMARNAP, 2000), fichas técnicas de la CONABIO (2005), que servirán para realizar una comparación de condiciones previas existentes con las condiciones actuales para determinar si existe una correlación de la diversidad de fauna asociada a los parámetros fisicoquímicos del sargazo.

Finalmente, con el objetivo de correlacionar las variaciones de los parámetros, se accedió a los índices de calidad de agua publicados por la CONAGUA, a partir de esta información se obtuvieron los datos y la información correspondiente para realizar un análisis de la situación real y de su evolución en los últimos años. Los índices de calidad determinan cuatro puntos de monitoreo con registros de 2015 al 2018. Con la información obtenida de CONAGUA y la de esta investigación con los parámetros fisicoquímicos presente en la zona de estudio, se analiza la asociación de la diversidad de fauna asociada al sargazo en la zona de estudio.

Trabajo de laboratorio y procesamiento de las muestras

Las muestras recolectadas en los sitios fueron almacenadas, colocadas en una hilera y preservadas en hielo a una temperatura aproximada de 12°C, para su posterior traslado al laboratorio de la Unidad de Ciencias del Agua del CICY, donde se procesaron para separar la diversidad asociada al sargazo.

En laboratorio se realizó un lavado de las muestras de sargazo con agua dulce, para generar un choque osmótico, liberando la fauna asociada en algunos casos adherida al sargazo, posteriormente se realizó un tamizado para separar especies más pequeñas y fuertemente adheridas a las hojas y tallos del sargazo. Posteriormente se realizó la identificación de la fauna asociada al sargazo al nivel taxonómico más bajo posible.

Lavado de las muestras

En laboratorio el detalle del lavado consiste sumergir el sargazo en agua dulce, como se describe a continuación. La muestra se colocó en un lavado en cuatro charolas, que consta de un separado, dos enjuagues de agua dulce y un escurrido. Se colocó la muestra se separó el sargazo y se realiza un primer enjuagado con agua dulce, se coloca en la segunda charola para un segundo lavado (figura 8), separando todos los individuos observados. Finalmente, se escurrió para llevar a secado, durante estos procesos todas las individuos observadas se recolectan y se pre clasifican por taxa, con el agua de los lavados se realiza un sedimentado y decantado del exceso de agua y este se lleva al siguiente proceso.



Figura 8. Lavado del sargazo y separado de la diversidad asociada.

Al final del lavado se extrae el agua excedente, con un sifoneo y decantado hasta dejar un concentrado con sedimentos, hojas, y las especies asociadas que no se pueden clasificar a simple vista, para el paso de tamizado para finalmente un proceso de identificaciones de las distintas especies presentes.

Durante todo el proceso las especies que son identificadas se preclasifican en grandes grupos; peces, camarones, cangrejos, moluscos, poliquetos, microfauna, y otros individuos como algas verdes, pastos marinos y esponjas en ese orden. A cada muestra se le colocó una etiqueta y se fijó con alcohol al 96%. Una vez obtenido el concentrado de los sedimentos que fueron lavados del sargazo se realiza un proceso de tamizado para la separación y clasificación de individuos más pequeños, para su posterior identificación.

Proceso de tamizado

El siguiente paso fue el proceso de separado mecánico de las de los distintos sedimentos y especies, se realiza por medio de un tamizado para realizar la separación y clasificación del concentrado de los sedimentos y preclasificación de los organismos (Cabrera *et al.*, 2010). Para los sedimentos se realizó un tren de tamizado, con un cribado de distintos tamaños de abertura para realizar la separación de los sólidos y las especies presentes en cada una de las muestras (figura 9). Esta técnica es adecuada para el análisis de partículas que se encuentren el rango de 125 mm a 20 μ m.



FIGURA 9. Tren de tamizado y proceso de separación de la fauna asociada y tamizado de muestras de sargazo.

La muestra de partículas fue tamizada en una torre de tamices con mallas de distinto diámetro que siguen una progresión geométrica y se encuentran estandarizados. El tamiz que tiene la apertura mayor se colocó arriba y un recipiente al fondo para contener todas las partículas pequeñas que pasan el tamiz de menor apertura llamado tren de tamizado. En cada eslabón del proceso de tamizado se recolectaron, etiquetaron y clasificaron todas las muestras (Cabrera *et al.*, 2010; Monroy-Velázquez *et al.*, 2019).

Los sedimentos se procesaron a través de tren de tamizado, con un cribado de distintos tamaños de abertura, se usaron los tamices del No: 10 (2 mm), 35 (0.5 mm), 40 (0.425 mm) y 250 (0.0058 mm). Con estos tamices se realizó la separación de los sólidos y las especies presentes en la muestra. Se separaron los sólidos, hojas e individuos filtrando los sedimentos presentes en cada tamiz (figura 9). A lo largo de todo el procesado de las muestras, todos los individuos fueron separados y clasificados en grupos para su posterior identificación. Todos los organismos se fijaron en alcohol al 96%.

Identificación de las especies

El proceso de identificación de especies comenzó con la separación e identificación en grandes grupos de los organismos clasificados con anterioridad, se inició con el grupo de peces (figura 10), los cuales se identifican con las claves de taxonómicas especialidades (Bortone *et al.*, 1977; Cházaro-Olvera *et al.*, 2017; Richards, 2006) identificándolos al nivel taxonómico más bajo posible



Figura 10 Identificación del pez sargazo (*Histrionotus histrio*), especie endémica del Mar de los Sargazos.

De todos los grupos se obtuvo las abundancias, mismas que permitieron analizar la diversidad de las especies para la zona de estudio (figura 11).



Figura 11 . Identificación y conteo de diferentes especies presentes en una muestra.

Comparación de la diversidad asociada al sargazo en diferentes regiones y por autores

Se realizó la comparación de la diversidad de fauna asociada en Caribe mexicano con cuatro regiones: 1) Mar de los Sargazos, 2) corriente del Golfo, 3) Golfo de México y 4) Caribe usando datos de seis estudios, dando un total de 184 taxas (Fine, 1969; Huffard, von Thun, Sherman, Sealey y Smith, 2014; Monroy-Velázquez *et al.*, 2019; Muñoz-Bautista *et al.*, 2015; Stoner y Greening, 1984; Weis, 1968a) con el fin de conocer si existe diferencia

en las diversidades de las especies de acuerdo a la región . El diagrama se describe a continuación en la figura 12.

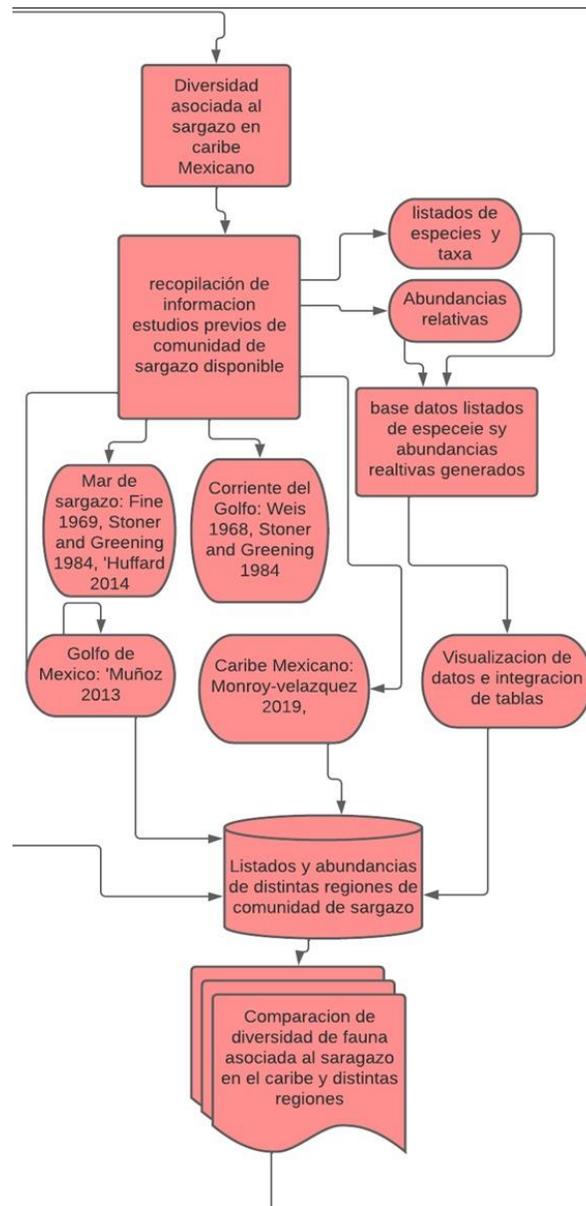


Figura 12. Proceso del objetivo comparación de la diversidad en distintas regiones publicado en distintos estudios.

Análisis estadísticos

Para la caracterización de la diversidad asociada al sargazo se realizaron los análisis de diversidad y abundancia de especies. Los análisis de diversidad comienzan con un análisis de riqueza, luego dominancia y finalmente similitud. La riqueza de especies se obtuvo con el índice de diversidad de Shannon-Wiener que expresa la uniformidad, determinando equidad en la diversidad de las especies.

Ecuación 1. Índice de diversidad de Shannon-Weiner.

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

El índice de dominancia de Simpson determinó si existe dominancia en las especies presentes en el sargazo en la zona de estudio, el cual manifiesta la probabilidad que dos individuos tomados al azar sean de la misma especie (Moreno, 2010).

Ecuación 2. Índice de dominancia de Simpson.

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Se realizó un análisis de diversidad alfa (riqueza de especies) y diversidad beta (análisis de disimilitud de Bray-Curtis) de las especies presentes en el hábitat de sargazo. Un análisis de similitud entre las abundancias de especies presentes entre sitios y entre la diversidad de especies mediante el índice de Bray-Curtis que se utiliza para evaluar la disimilitud entre las muestras en términos de abundancia de taxones (Morelli y Verdi, 2014; Moreno, 2010).

Ecuación 3. Análisis de disimilitud de Bray-Curtis.

$$BC_{jk} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^p \min(N_{ij}, N_{ik})}{\sum_{i=1}^p (N_{ij} + N_{ik})}$$

Para realizar la comparación de diversidad por regiones y estudios, se utilizó también un análisis de disimilitud de Bray-Curtis con la fórmula de la ecuación 3 (Morelli y Verdi, 2014; Moreno, 2010).

Se realizó un análisis de correlación entre la abundancia de especies y los parámetros fisicoquímicos, para determinar si las diversidades de fauna asociada varía en la zona de estudio. El coeficiente de correlación es la medida específica que cuantifica la intensidad de la relación lineal entre dos variables en un análisis de correlación (r).

Ecuación 4. Coeficiente de correlación.

$$r = \frac{\sum [(x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 * \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Un análisis de correlación con las variables y datos históricos y los generados en estudio, con el fin de determinar si existía alguna relación de dichas variables y que pueda determinar la causa en la diversidad de fauna asociada los arribazones del sargazo pelágico mediante la fórmula de la ecuación 4.

Un análisis de disimilitud para determinar la relación de este estudio con otros estudios realizados en la zona del Mar de los Sargazos, Golfo de México y Caribe. un el índice de riqueza de acumulación de especies, para conocer si tenemos la diversidad esperada de según las especies que se colectaron (Monroy-Velázquez *et al.*, 2019; Moreno, 2010).

Como una medida de validación al esfuerzo de muestreo, se analizó el número de especies presentes y las esperadas por medio de un modelo de rarefacción, generando curvas de rarefacción que permitan comparar si el número de especies esperadas es similar al número de especies obtenido. Una curva de rarefacción (programa Biodiversity Pro) para determinar la eficiencia del muestreo y determinar si el total de especies observado se aproxima al estimado (Moreno, 2010).

Ecuación 5. Ecuación de curva de rarefacción.

$$E(S) = \sum 1 - \frac{(N - N_i)/n}{N/n}$$

Para analizar si existe una relación de los parámetros fisicoquímicos con las abundancias para determinar si existe una correlación entre los parámetros de temperatura y pH se realizaron análisis correlación

Una regresión lineal simple, mediante la función lineal:

Ecuación 6. Regresión lineal simple.

$$Y = \beta_0 * X + \beta_1$$

β_0 y β_1 son dos constantes desconocidas que representan la pendiente de regresión, mientras que ϵ (épsilon) es el término de error.

Se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) entre las zonas y los sitios en busca de agrupaciones representadas en un espacio geométrico de pocas dimensiones a las proximidades existentes entre el conjunto de sitios (Monroy-Velázquez *et al.*, 2019).

Un análisis PERMANOVA para determinar diferencia entre los sitios de estudio, zonas de muestreo y temporadas en las que se realizó el trabajo (Anderson, 2014).

Capítulo 3

Resultados

Diversidad asociada al sargazo, análisis de riqueza, dominancia y similitud

Se colectaron en total 16,751 individuos en las dos temporadas de muestreo, las cuales pertenecen un total de 74 taxas, las cuales fueron identificadas a mínimo nivel taxonómico posible como se muestra más adelante.

Para la primera temporada se separaron 8,946 individuos clasificados en 35 taxas, en la segunda temporada se separaron un total de 7,805 individuos clasificados en de 54 taxas. Los phylum registrados fueron: Crustácea, Chordata, Mollusca, Annelida, Echinodermata, Turbellaria y Platyhelminthes.

El grupo de los crustáceos fue el más abundante con un registro de 9 taxas y 9,004 individuos registrados en las dos temporadas; en la primera temporada se identificaron 6 taxas de las cuales 1 se identificó a nivel género (*Gammarus sp.*) y un grupo indeterminado de individuos en etapa de desarrollo mencionada como megalopa. En la segunda temporada de muestreo se obtuvo una abundancia de 2,374 individuos, identificados en 7 taxas, 2 de las cuales se identificaron a nivel de género (*Gammarus sp.* y *Ampithoe sp.*) y 1 a nivel familia (Sergestidae) y un grupo indeterminado de 211 individuos en etapas de desarrollo llamado megalopa que no se determinaron a nivel de especie. Este phylum (Crustacea) fue el más abundante con 6,630 individuos. Las abundancias se describen en la tabla 2 y figuras 13 y 14.

Tabla 2. Abundancia de los crustáceos por temporadas, La abundancia es el número total, de organismos registrados.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIES	TEMPORADA	TEMPORADA
			1	2
AMPHIPODA	Gammaridae	<i>Gammarus sp</i>	11	307
	Ampithoidae	<i>Ampithoe sp</i>	0	6
		<i>Ampithoe longimana</i>	18	0
DECAPODA		<i>Megalopa</i>	81	130
	Portunidae	<i>Portunus sayi</i>	31	196
	Palaemonidae	<i>Leander tenuicornis</i>	135	195
	Hippolytidae	<i>Latreutes fucorum</i>	2,098	5,790
	Sergestidae	<i>Sergestidae</i>	0	1
DECAPODA	Sergestidae	<i>Acetes americanus</i>	0	5

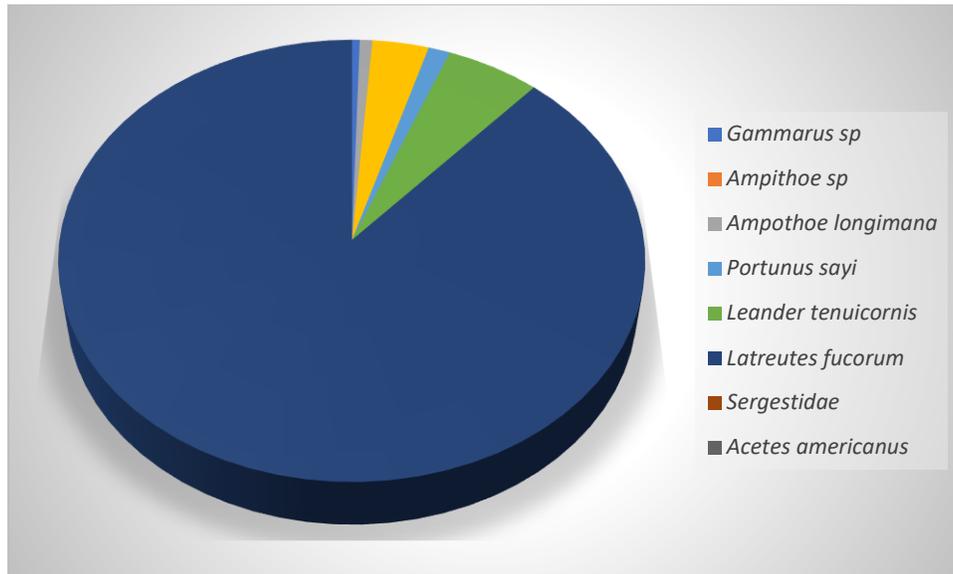


Figura 13 . Abundancia de crustáceos con las especies dominantes en la temporada 1.

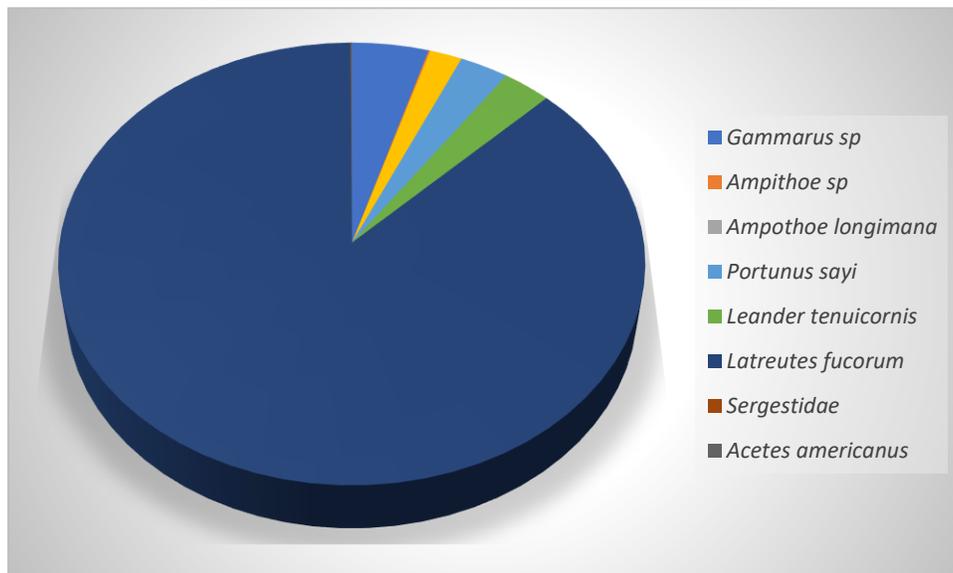


Figura 14 . Abundancia de crustáceos con las especies dominantes en la temporada 2.

En las figuras 13 y 14 se registran especies con un mayor número de individuos presentes en las muestras y sitios.

El phylum de los cordados (peces) registradas en las 2 temporadas se presentan en la tabla 3 y figuras 15 y 16. La abundancia total fue de 635 individuos en 30 taxa divididos en las 2 temporadas. En la muestra de la primera temporada 2020 se obtuvo un total de 149 individuos en 15 taxas las cuales fueron identificadas a nivel especie. Un taxa de huevos de peces no se pudieron identificar. La segunda temporada identifico un total de 22 taxas de las cuales, 2 taxa se identificaron a nivel de género (*Sphoroides sp.* y *Paraclinus sp.*) con 488 individuos presentes.

TABLA 3. Abundancia de cordados (peces) por temporadas.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIES	TEMPORADA 1	TEMPORADA 2
BELONIFORMES	Hemiramphidae	<i>Hemiramphus brasiliensis.</i>	0	2
BLENNIIFORMES	Labrisomidae	<i>Paraclinus sp</i>	0	1
LOPHIIFORMES	Antennariidae	<i>Histrio histrio</i>	11	20
EUPERCARIA INCERTAE SEDIS	Lutjanidae	<i>Ocyurus chrysurus</i>	1	0
PERCIFORMES	Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i>	9	9
	Coryphaenidae	<i>Coryphaena hippurus</i>	2	1
	Carangidae	<i>Elagatis bipinnulata</i>	0	1
	Carangidae	<i>Caranx crysos</i>	1	0
	Lobotidae	<i>Lobotes surinamensis</i>	0	1
	Carangidae	<i>Selar crumenophthalmus</i>	0	1
	Carangidae	<i>Caranx bartholomei</i>	10	14
	Carangidae	<i>Caranx ruber</i>	0	4
	Carangidae	<i>Seriola dumerili</i>	0	1
	Kyphosidae	<i>Kyphosus sectatrix</i>	0	1
	Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i>	0	1
	Apogonidae	<i>Apogon lachneri</i>	0	4



SYNGNATHIFORMES	Syngnatiidae	<i>Syngnathus pelagicus</i>	9	16
	Fistulariidae	<i>Fistularia tabacaria</i>	0	2
TETRAODONTIFORMES	Balistidae	<i>Balistes capriscus</i>	2	0
	Balistidae	<i>Canthidermis sufflamen</i>	3	0
	Monacanthid ae	<i>Stephanolepis setifer</i>	6	394
	Monacanthid ae	<i>Stephanolepis hispidus</i>	15	0
	Tetraodontid ae	<i>Sphoeroides sp</i>	0	4
	Monacanthid ae	<i>Cantherhines pullus</i>	0	6
	Monacanthid ae	<i>Cantherhines macrocerus</i>	0	1
	Monacanthid ae	<i>Monacanthus tuckeri</i>	13	0
	Monacanthid ae	<i>Monacanthus ciliatus</i>	1	0
	Tetraodontid ae	<i>Canthigaster rostrata</i>	24	3
	Tetraodontid ae	<i>Sphoroides maculatus</i>	0	1
		<i>Huevos de peces</i>	40	0
			147	488

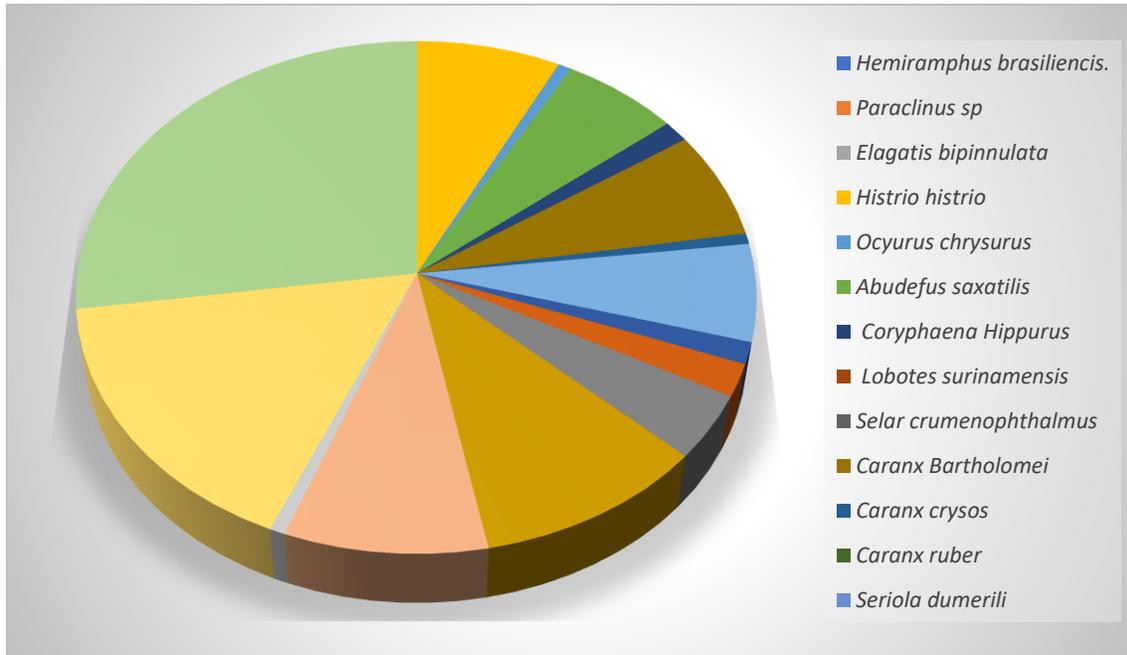


Figura 15. Abundancia de cordados (peces) temporada 1.

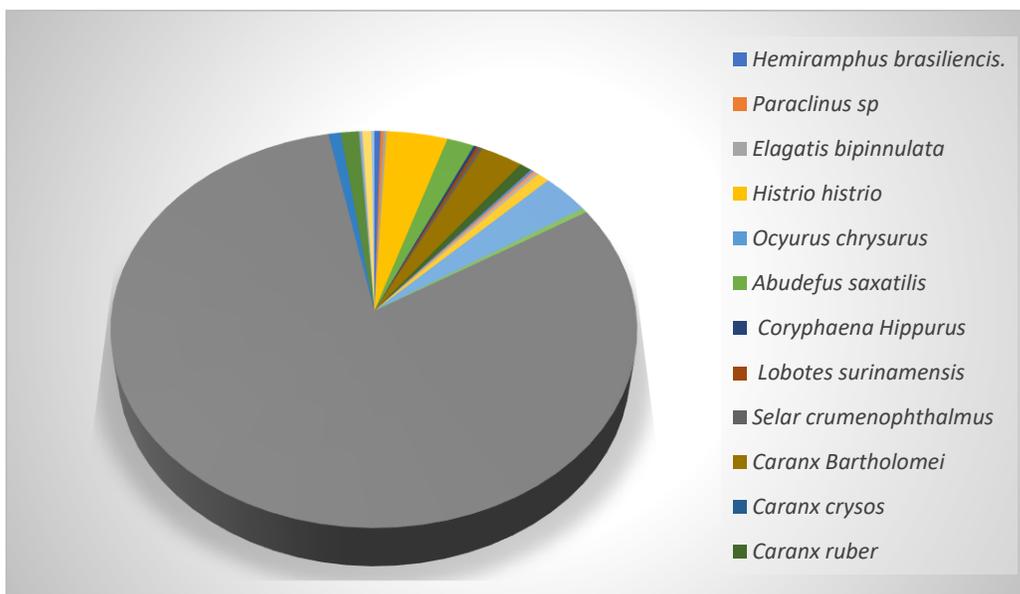


Figura 16. Abundancia de cordados (peces) temporada 2.

Para el phylum Mollusca se registraron un total de 6,335 individuos de 28 taxa obtenidos en los muestreos de las 2 temporadas. En el resultado de la temporada 1 se registraron un

total de 6,181 individuos identificados en las muestras en 10 taxas, dos de las cuales se identificaron a nivel género (*Stosicia sp* y *Volvarina sp*), en la segunda temporada de muestreo se registraron 174 individuos presentes en 21 taxa de la cuales 7 se identificaron a nivel género (*Vexillum sp*, *Conus sp*, *Glycymeris sp*, *Cerithidae sp*, *Cerithiopsis sp.*) y 1 a nivel de familia (*Vermetidae*). Se presentan en la tabla 4 y figuras 17 y 18.

Tabla 4. Abundancia de moluscos por temporada.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIES	TEMPORAD A 1	TEMPORAD A 2
ARCOIDA	Glycymerididae	<i>Glycymeris sp</i>	0	2
CAENOGASTROPODA	Planaxidae	<i>Planaxis lineatus</i>	0	1
	Cerithiopsidae	<i>Cerithiopsis sp.</i>	0	4
	Cerithiidae	<i>Cerithium litteratum</i>	0	1
	Potamididae	<i>Cerithidae sp</i>	0	1
	Litiopidae	<i>Litiopa melanostoma</i>	1644	34
CYCLONERITIDA	Neritidae	<i>Nerita peloronta</i>	0	1
LEPETELLIDA	Fissurellidae	<i>Fissurella barbadensis</i>	0	1
LITTORINIMORPHA	Zebinidae	<i>Stosicia sp</i>	1	0
	Vermetidae	<i>Vermetidae</i>	4457	109
	Cochliopidae	<i>Littoridinops monroensis</i>	36	1
MYTILIDA	Mytilidae	<i>Brachidontes exustus</i>	0	4
	Mytilidae	<i>Modiolus americanus</i>	2	0
NEOGASTROPODA	Bellolividae	<i>Jaspidella blanesi</i>	0	1
	Conidae	<i>Conus sp</i>	0	1
	Olividae	<i>Olivella minuta</i>	0	1
	Olividae	<i>Olivella petiolita</i>	0	2
	Marginellidae	<i>Volvarina sp</i>	1	0
	Melongenidae	<i>Melongena melongena</i>	1	0
	Costellariidae	<i>Vexillum sp</i>	1	1
NUDIBRANCHIA	Marginellidae	<i>Marginella labiatum</i>	0	1
	Scyllaeidae	<i>Scyllaea pelágica</i>	0	3
	Scyllaeidae	<i>Nudibranchia sp</i>	0	1
OSTREIDA	Pteriidae	<i>Pteria colymbus</i>	35	0
PTEROPODA	Cavoliniidae	<i>Cavolina longirostris</i>	0	4
TROCHIDA	Trochidae	<i>Pseudostomatella erythrocoma</i>	1	0

Phasianellida	<i>Eulithidium bellum</i>	2	0
e		6181	174

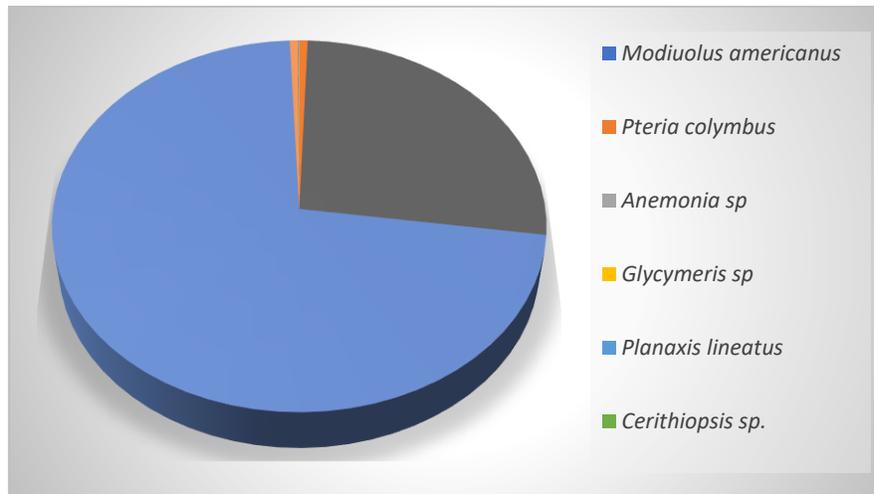


Figura 17. Abundancia de moluscos para la temporada 1.

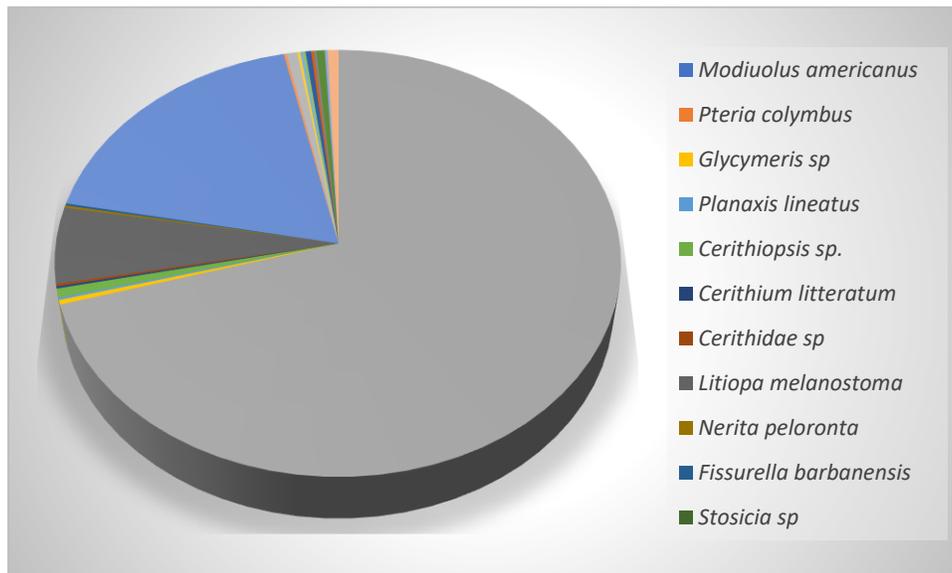


Figura 18. Abundancia de moluscos para la temporada 2.

Las figuras 17 y 18 para las dos temporadas presentan diferencia en el número de especies para los dos muestreos, con especies dominantes y de mayor abundancia.

El resto de los organismos colectados se agruparon en los órdenes: anélidos, cnidarios, echinoderma, turbelaria y platelmitha, con 757 individuos, en 8 taxa. Para la temporada 1 con un registro total de 244 individuos se identificaron 4 taxa, 1 a nivel especies (*Neantes*

acuminata), tres taxa a nivel de orden (*ophiurida*, *echinoidea*, *valvatida*). Para la segunda temporada con 512 individuos colectados, se identificaron 5 taxa unos de las cuales se identificó 2 a nivel género (*Branchioma sp.* y *Anemonia sp.*) y 1 a nivel familia (*Leptoplanidae*). Se presentan en la tabla 5 y figuras 19 y 20.

TABLA 5. Abundancia de los órdenes *Anélidos*, *Echinoderma*, *Turbelaria* y *Platelmitha* por temporadas.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIES	TEMPORAD A 1	TEMPORAD A 2
PHYLLODOCID A	Nereididae	<i>Neanthes acuminata</i>	212	70
ACTINIARIA	Actiniidae	<i>Anemonia sp</i>	0	415
OPHIURIDA		<i>Ophiurida</i>	17	0
		<i>Echinoidea</i>	11	0
VALVATIDA		<i>Valvatida</i>	4	0
POLYCLADIDA	Leptoplanidae	<i>Leptoplanidae</i>	0	1
SABELLIDA	Sabellinae	<i>Branchioma sp</i>	0	20
POLYCLADIDA	Stylochocestid ae	<i>Chatziplana grubei</i>	0	7
			244	513

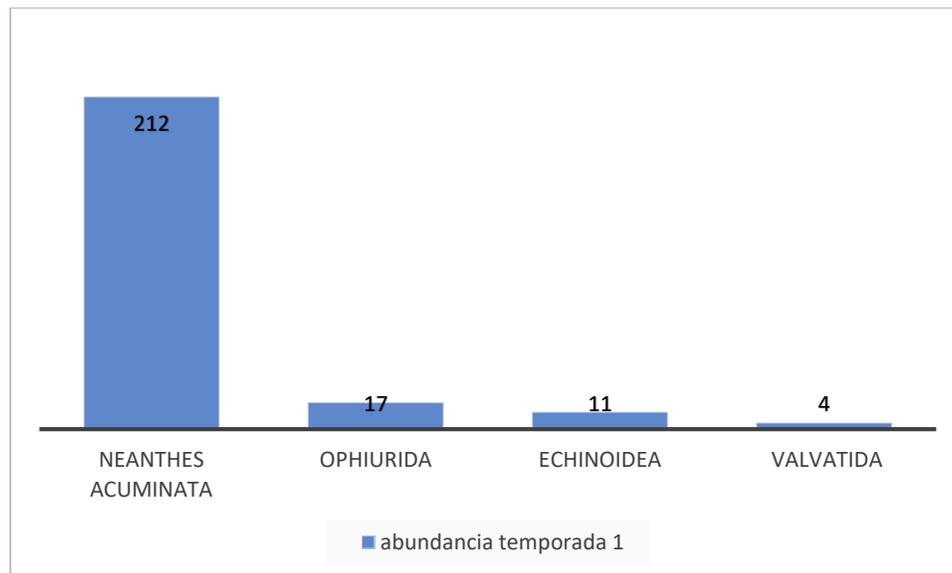


Figura 19. Abundancia para los de phylum en la temporada 1.

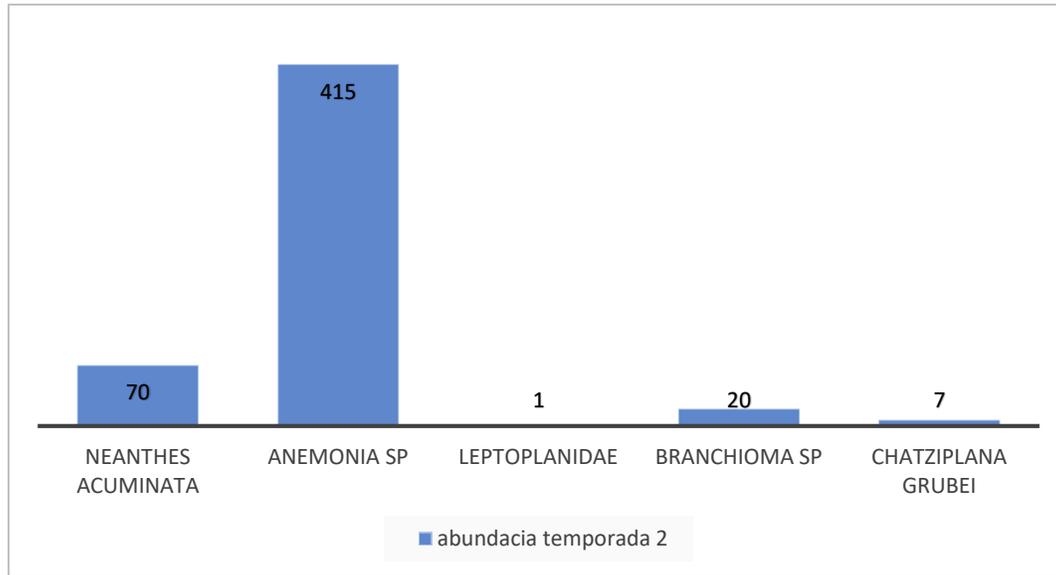


Figura 20. Abundancia para el conjunto phylum en la temporada 2.

Las recolectas de la 2 temporada de muestreo se obtuvo mayor diversidad con 4 taxas, pero menor abundancia, en la primera temporada se obtuvo poca diversidad con una mayor abundancia (figuras 19 y 20).

Análisis de diversidad

Curva de rarefacción

Se presenta la curva de rarefacción para la temporada 1 (septiembre 2020) podemos observar en la figura 21 que se presenta la curva de rarefacción para la temporada uno donde nos presenta el acercamiento a la asíntota que nos indique que los muestreos fueron similares a lo esperado y que la riqueza obtenida en cuatro de los sitios (PBAB-B, PBAB-A, PBDB-B, PBDB-A), se acerca ligeramente a la riqueza esperada. En el resto de los sitios se requiere aún mayor esfuerzo para acercarse a la asíntota (figura 21).

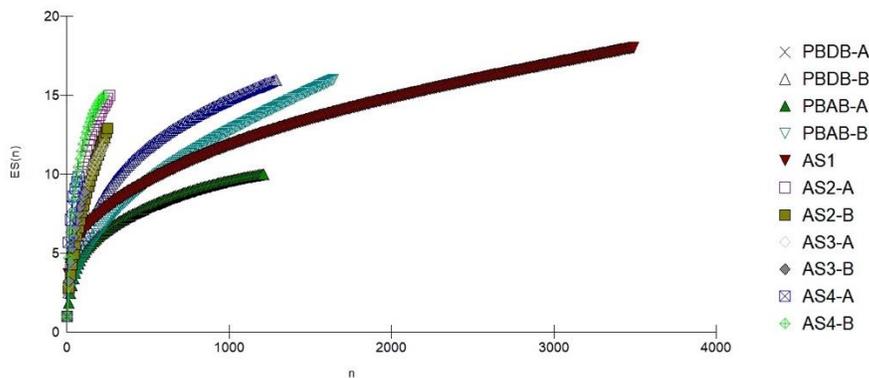


Figura 21. Curva de rarefacción temporada 1.

La curva de rarefacción para la temporada 2 mantiene una tendencia hacia la asintótica en todos los sitios, excepto en los sitios playa 2 y playa 1, los cuales requieren un mayor esfuerzo. Estos sitios presentaron variaciones debido a la interacción con los sedimentos de la costa, incrementando el número de especies e individuos más relacionados con los sedimentos de playa que con la asociación al sargazo (Figura 22).

Podemos observar que va con relación a los resultados obtenidos con el número de taxas y abundancias se tiene mejor representación de la comunidad esperada con la comunidad recolectada.

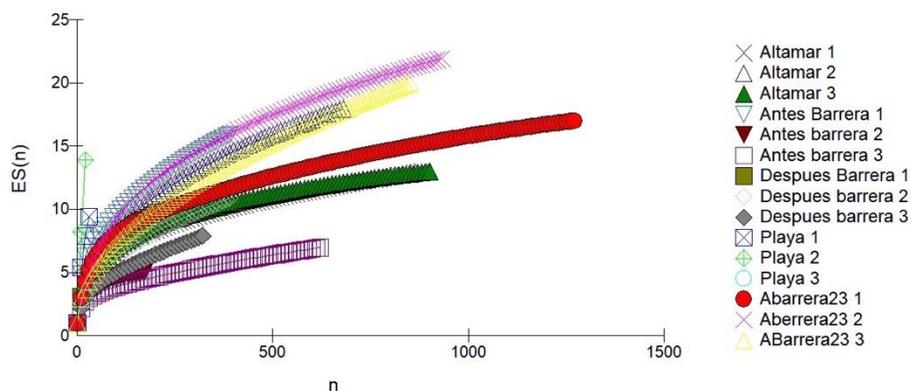


Figura 22. Curva de rarefacción temporada 2.

Diversidad de Shannon-Wiener

El índice de diversidad de Shannon-Weiner para la temporada 1 presenta tres sitios con mayor diversidad (AS4-A, AS4-B y la AS1) los demás sitios presentan un índice menor de 0.5 por que se consideran de baja diversidad (figura 23).

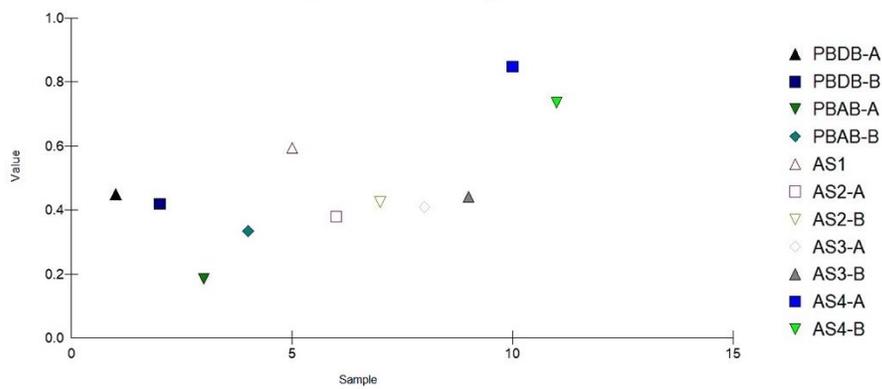


Figura 23. Índice de diversidad de Shannon-Weiner temporada 1.

El índice de diversidad de Shannon-Weiner para la temporada 2, evidencio que los sitios de Playa 2, presentaron el mayor valor de diversidad, seguido de la muestra (codificado de los sitios difiere de las temporadas 1) Playa 1 y Antes Barrera 1. En contraste, las muestras menos diversas fueron Antes Barrera 2 y Antes Barrera 3 (figura 24).

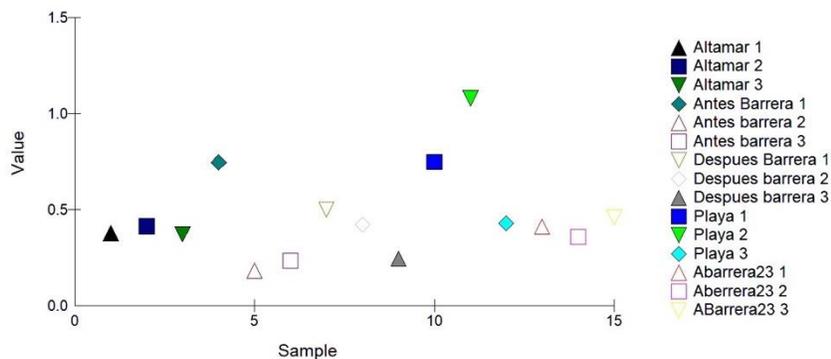


Figura 24. Índice de diversidad de Shannon-Weiner temporada 2.

Índice de Dominancia

El índice de dominancia de Simpson para la temporada 1 presento sitios con valor superior al 0.5 lo que indica sitios con alta dominancia en pocas especies (figura 25).

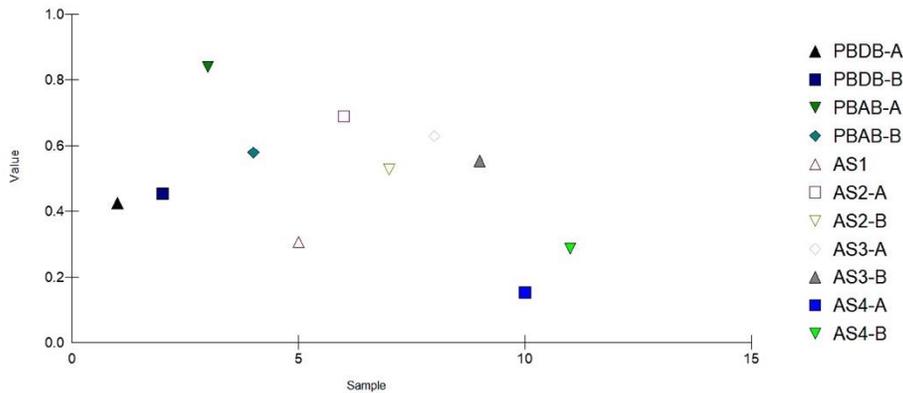


Figura 25. Índice de dominancia de Simpson temporada 1.

El índice de dominancia para la temporada 2 presentó sitios con un valor cercano al 1 que determina sitios de alta dominancia (PBAB-A, AS2-A). Playa 2 presenta una mayor número de especies por lo tanto tiene un menor valor con el índice de Simpson, Antes barrera 2 es el que presenta mayor valor por lo que tiene una mayor dominancia de las especies presentes, el resto de los sitios (AS4-A y AS3-b) presentaron valores medios (figura 26).

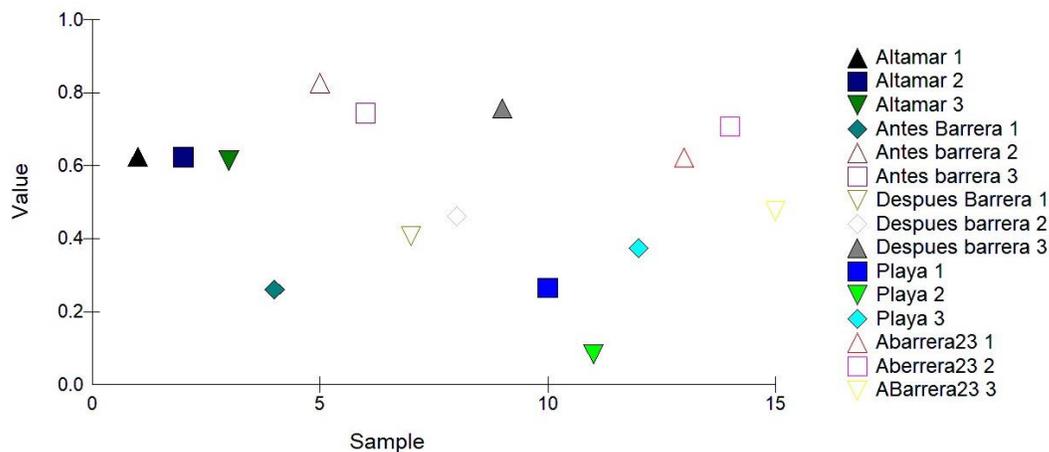


Figura 26. Índice de dominancia de Simpson temporada 2.

Análisis de disimilitud de Bray-Curtis

Para determinar la métrica de diversidad beta, se utilizó la disimilitud de Bray-Curtis y determinar así que tan diferentes son las muestras entre sí. El análisis de disimilitud para la temporada 1 se presenta en el análisis de agrupamiento (clúster) de la figura 25, donde se presentan tres grupos principales; el primer grupo se constituye por 4 sitios (AS1, PBAB-

fi

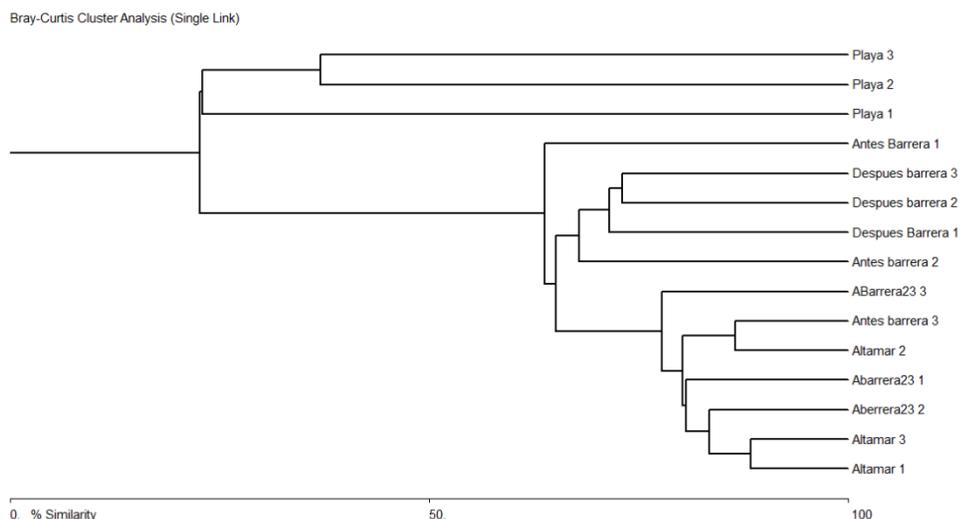


Figura 28. Análisis de agrupamiento (clúster) como medida de la diversidad beta mediante para la temporada 2.

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos se presentan en la tabla 6 con los valores registrados en la investigación de: temperatura, pH, conductividad. Se presentan cuatro sitios adicionales los cuales son los registros históricos se marcan como PM83, PM00, PM05, PM20 Se agregan en la tabla también los resultados de registros previos de acuerdo con la línea base revisada con anterioridad.

Tabla 6. Determinación de los sitios de colecta y los parámetros fisicoquímicos obtenidos en cada sitio.

FECHA DE COLECTA	SITIO DE COLECTA	LONGITUD O	LATITUD N	PH	TEM P.	CONDUCTIVIDAD (MS)
5/7/1983	LB 1, (Merino 1983)	86°52'30.6"	20°50'50.5"	8.3 4	27.74	
14/2/2000	LB 2, (PMPNPM)	86°52'30.6"	20°50'50.5"	8.3 4	25.6	
5/6/2005	LB 3, (F. tecnica2005)	86°52'30.6"	20°50'50.5"	7	24	
20/12/2020	LB 4, (Molina 2020)	86°52'30.6"	20°50'50.5"	7	27	18
17/9/2020	Antes de Barrera	86° 53' 55.13"	20° 48' 25.68"	7.7 8	25.5	36.6
17/9/2020	Después de Barrera	86° 53' 23.40"	20° 47' 50.53"	7.7 5	26.7	35.7

22/9/2020	Playa (sobre playa y a 1.5 m de profundidad)	86° 52' 09"	20° 51' 47"	7.7 7	26.5	36.6
24/9/2020	Altamar (Punta SAM, Cancún), se muestrearon 4 sitios	86° 36' 0.20"	21° 22' 7.05"	8.1 8	25.9	36.0
18/5/2021	Altamar (Puerto Morelos)	86°49'8.28"	20°49'36.36"	8.4 8	28.7 0	18.62
28/4/2021	Antes de Barrera (Puerto Morelos)	86° 54' 16.2"	20° 48' 33.6"	8.3 7	28.0 0	18.83
28/4/2021	Después de Barrera (Puerto Morelos)	86° 55' 14.2"	20° 47' 59.4"	8.4 4	28.7 0	18.66
29/4/2021	Playa (sobre playa y a 1.5 m de profundidad, Puerto Morelos)	86°54'21.41"	20°48'45.76"	8.4 9	27.5	18.9

De acuerdo con los valores de los parámetros fisicoquímicos, se realizó un análisis de regresión lineal con los datos que se obtuvieron en campo y los bibliográficos. El análisis de regresión con el pH y la abundancia no presentó una relación fuerte ($r = 0.041$) (figura 29).

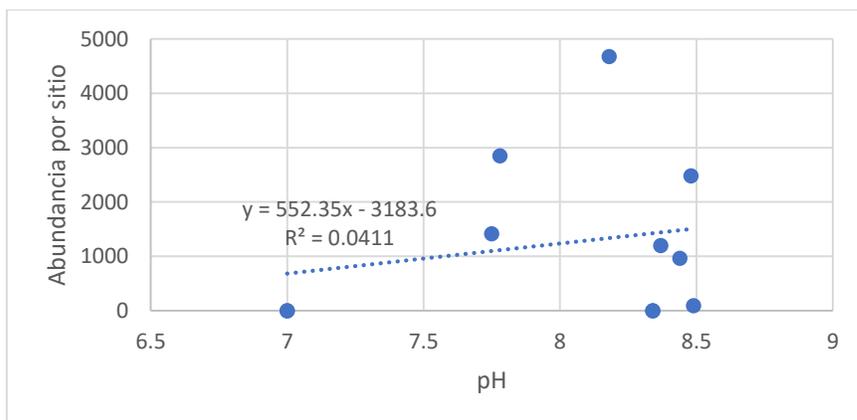


Figura 29. Análisis de regresión lineal y coeficiente de correlación (R^2) pH y abundancias.

El análisis de regresión con la temperatura y la abundancia no presentó una relación fuerte ($r = 0.0009$), (figura 30).

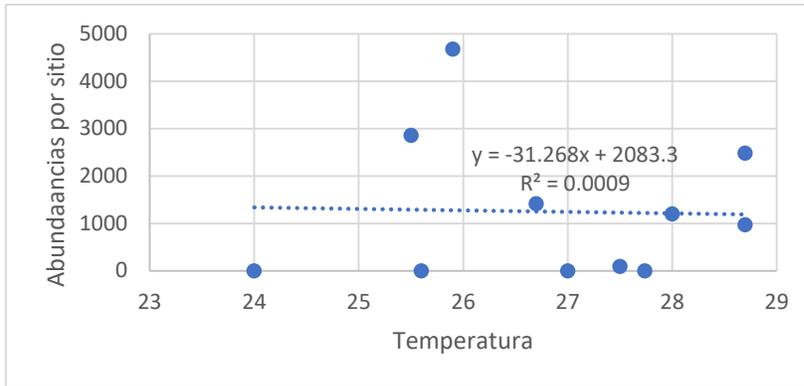


Figura 30. Análisis de regresión lineal y coeficiente de correlación de la temperatura y abundancia.

Comparación de la diversidad asociada al sargazo en diferentes regiones por diferentes autores

Se realizó comparación de la estructura de la comunidad de fauna en muestras de sargazo flotante reportada en siete estudios realizados en cuatro regiones, por diferentes estudios basados en los análisis realizado por Monroy-Velázquez *et al.* (2019) incorporando los resultados obtenidos en este estudio (tabla 7)

El número de especies o taxa reportados por cada uno de los estudios revisados se presentan en la figura 31. La suma total de especies en la comunidad de sargazo es de 184 especies, de las cuales en cada uno de los estudios previos (Fine, 1969; Huffard, von Thun, Sherman, Sealey y Smith, 2014; Monroy-Velázquez *et al.*, 2019; Muñoz-Bautista *et al.*, 2015; Stoner y Greening, 1984; Weis, 1968a) se desglosan en la tabla 7 y figura 32. El presente estudio si bien no registro la totalidad de la comunidad reportada para la comunidad de sargazo, si reporta el mayor número de taxa con 76, mientras que el estudio realizado en el Mar de los Sargazos realizado por Fine 1969 reporto 60 taxa. El resto de los estudios reportaron menor número de especies. La descripción de la diversidad de fauna asociada en el Caribe por Monroy-Velázquez *et al.* (2019) reportan 32 taxa, aunque reportan menor número de taxa, hay similitud con los resultados presentados en la presente investigación.

Tabla 7. Resultados y comparación de especies y abundancias por sitios y por estudios publicados.

Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
	Region/Autor(s)							

Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
Region	Mar de los Sargazos			corriente del golfo		NW golfo de México	Caribe mexicano	
Especies	Fine 1969	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 1984	Muñoz 2013	Monroy-velazquez	presente estudio
<i>Myrianida</i> sp.				2.2				
<i>Platynereis dumerilii</i>	5.7	3.7	0.025		3.7		41.1	
Family: Nereididae						3.1		
<i>Neanthes acuminata</i>								1.68
Family: Sabellidae						0.1		
<i>Anoplodactylus petiolatus</i>	5	1.5			0.6			
<i>Endeis spinosa</i>	0.01							
Family: Pycnogonidae			0.004				0.5	
<i>Tanystylum orbiculare</i>	0.1							
<i>Cladocera</i> sp.	0.01							
Unidentified copepod			0.033					
<i>Ampelisca</i> sp.							0.02	
<i>Ampithoe longimana</i>	0.25		0.04					0.11
<i>Ampithoe</i> sp. A			1.8					
<i>Ampithoe</i> sp. B			0.5					
<i>Ampithoe</i> sp.								0.04
<i>Biancolina brassicacephala</i>		0.3	0.01			0.0	1.3	
<i>Biancolina</i> sp.	0.28							
<i>Deutella</i> spp.			0.2					
Family: Gammaridae	0.02							
<i>Gammarus</i> sp				0.3		0.0		1.90
<i>Hemiaegina minuta</i>	16.4	1			1.3	0.2		
<i>Hyale</i> sp.			0.2				0.5	
<i>Hyperia galba</i>	0.03							
<i>Nototropis minikoi</i>	0.1						15.0	



Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
Family: Talitridae							0.1	
Unidentified amphipod			1.6					
<i>Allorchestes</i> sp.	0.01							
<i>Deutella incerta</i>		0.6						
<i>Sunamphitoe pelagica</i>	4.4	10.6	1.5				0.2	
<i>megalopa</i>								1.26
<i>Atya</i> sp.						0.6		
<i>Callinectes sapidus</i>						1.1		
<i>Cronius ruber</i>	0.11							
<i>Discias atlanticus</i>							0.02	
<i>Moreiradromia antillensis</i>	1.8							
Family: Dromidae	0.05							
<i>Hippolyte coeruleascens</i>		0.2	1.2					
<i>Hippolyte varians</i>						1.0		
<i>Latreutes fucorum</i>	16.8	22.5	86.6		67.8	6.7	17.7	47.09
<i>Latreutes</i> sp.				28.3				
<i>Leander tenuicornis</i>	6.1	1.6	2.1	6.7	5.8	1.5	1.1	1.97
<i>Belzebub faxoni</i>	0.6							
<i>Ovalipes floridanus</i>	0.01							
<i>Palaemon mundusnovus</i>						31.2		
<i>Palaemon vulgaris</i>						15.1		
<i>Planes minutus</i>	0.3	11.8	0.8					
<i>Planes</i> sp.				0.5				
<i>Portunus anceps</i>	0.1							
<i>Portunus gibbesii</i>						2.0		
<i>Achelous ordwayi</i>	0.01							
<i>Portunus sayi</i>	0.4	0.1	1.8		4.6	3.8	0.7	1.36
<i>Portunus</i> sp.	0.8			3.8		1.0		
<i>Achelous spinicarpus</i>						1.5		
Sergestidae								0.01



Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
<i>Acetes americanus</i>								0.03
<i>Sergestes</i> sp.						23.7		
<i>Tozeuma carolinense</i>							0.04	
Infraorder: Brachyura	0.01							
Superfamily: Penaeoidea							0.03	
Family: Portunidae	0.4							
<i>Carpas minutus</i>	11.5	8.7			10			
<i>Carpas</i> sp.							4.7	
<i>Cirolana</i> sp.				0.8				
<i>Idotea metallica</i>							0.1	
<i>Probopyrinella latreuticola</i>	0.2						0.8	
<i>Squilla</i> sp.	0.01							
<i>Zeuxo</i> sp.							0.01	
Order: Tanaidacea			0.004					
Order: Diptera							0.01	
<i>Ferosagitta hispida</i>	0.1							
Subphylum: Tunicata								
Family: Salpidae				3.8				
<i>Cheilopogon melanurus</i>								
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>								0.01
<i>paraclinus</i> sp								0.01
<i>Histrio histrio</i>	0.05	0.9	0.1	0.5	0.1	0.4	0.01	0.19
<i>Abudefduf taurus</i>	0.01							
<i>Ocyurus chrysurus</i>								0.01
<i>Abudefduf saxatilis</i>	0.01				0.1	0.0	0.05	0.11
<i>Carangoides bartholomaei</i>	0.01						0.01	0.14
<i>Pseudocaranx dentex</i>	0.01							
<i>Coryphaena Hippurus</i>								0.02
<i>Caranx</i> sp.				0.3				
<i>Caranx crysos</i>								0.01



Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
<i>Elagatis bipinnulata</i>								0.01
<i>caranx ruber</i>								0.02
<i>Seriola dumerili</i>	0.02							0.01
<i>Selar crumenophthalmus</i>	0.01							0.01
<i>Kyphosus sectatrix</i>								0.01
<i>sphyraena barracuda</i>								0.01
<i>apogon lachneri</i>								0.02
Family: Apogonidae						0.02		
Family: Centrolophidae	0.01							
<i>Hyperoglyphe bythites</i>	0.01							
<i>Lobotes surinamensis</i>						0.02		0.01
<i>Mugil sp.</i>						0.2		
<i>Polydactylus octonemus</i>						0.02		
<i>Selar crumenophthalmus</i>	0.01							
<i>seriola dumerili</i>	0.02							
Family: Apogonidae						0.02		0.01
<i>Syngnathus louisianae</i>						0.1		
<i>Syngnathus pelagicus</i>	0.05				0.2		0.01	0.15
<i>fistularia tabacaria</i>								0.01
<i>Balistes capriscus</i>						0.6		0.01
<i>Balistes sp.</i>				0.3				
<i>Canthidermis sufflamen</i>								0.02
<i>Stephanolepis setifer</i>								2.39
<i>Stephanolepis hispidus</i>	2.1	0.2			2.2	0.05	0.02	0.09
<i>Sphoeroides sp</i>								0.02
<i>sphoroides maculatus</i>								0.01
<i>Cantherhines pullus</i>								0.04



Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
Cantherhines macrocerus								0.01
<i>Monacanthus tuckeri</i>								0.08
<i>Monacanthus ciliatus</i>								0.01
<i>Canthigaster rostrata</i>								0.16
<i>Diodon</i> sp.		0.1	0.004					
<i>Monacanthus</i> sp.				3.0		0.02		
Other fish			0.04					
HUEVOS DE PEZ								0.24
<i>Anemonia sargassensis</i>	6.5							
<i>Anemonia</i> sp.								2.48
Order: Actiniaria						0.1		
<i>Ophiurida</i>								0.10
Echinoidea								0.07
<i>Valvatida</i>								0.02
<i>Lunarca ovalis</i>	0.02							
<i>Glycymeris</i> sp.								0.01
<i>Ostrea</i> sp.				0.8				
Class: Bivalvia							0.02	
<i>Modiolus americanus</i>								0.01
<i>Pteria colymbus</i>								0.21
<i>Glycymeris</i> sp.								0.01
<i>Aplysia dactylomela</i>						0.1		
<i>Planaxis lineatus</i>								0.01
<i>Cerithiopsis</i> sp.								0.02
<i>Cerithium litteratum</i>								0.01
<i>Cerithidae</i> sp.								0.01
<i>Bittium</i> sp.				32.1				
<i>Litiopa melanostoma</i>	7.9	25.1	0.8		0.9	2.6	15.0	10.02
<i>Nerita peloronta</i>								0.01
<i>Fissurella barbanensis</i>								0.01
<i>Stosicia</i> sp.								0.01



Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
<i>Vermetidae</i>								27.26
<i>Littoridinops monroensis</i>								0.22
<i>Brachidontes exustus</i>								0.02
<i>Jaspidella blanesi</i>								0.01
<i>Conus sp</i>								0.01
<i>Olivella minuta</i>								0.01
<i>Olivella pertiolata</i>								0.01
<i>Vexillum sp</i>								0.01
<i>Marginella labiatum</i>								0.01
<i>Volvarina sp</i>								0.01
<i>Melongena melongena</i>								0.01
<i>Diacavolinia longirostris</i>	0.01							
<i>Corambe obscura</i>	0.03	0.5	0.2		0.3			
<i>Cuthona sp.</i>	0.7							
<i>Doto pygmaea</i>		0.3			0.2			
<i>Doto sp.</i>	0.09							
<i>Glaucus atlanticus</i>	0.01							
<i>Nudibranchia sp 1</i>								0.01
Order: Nudibranchia 2							0.1	
<i>Scyllaea pelágica</i>	0.09	0.3	0.4			0.7	0.1	0.02
<i>Spurilla neapolitana</i>	0.08							
<i>Fiona sp.</i>						0.1		
<i>Cavolina longirostris</i>								0.02
<i>Creseis virgula</i>	0.2							
<i>Styliola subula</i>	0.02							
<i>Rissoa sp.</i>				14.3				
<i>pseudostomatella erythrocoma</i>								0.01
<i>Eulithidium bellum</i>								0.01
<i>Chiton sp.</i>						0.3		

Especies	Fine 1979	Stoner and Greening 1984	Huffard 2014	Weis 1968	Stoner and Greening 19842	Muñoz 2015	monroy-velazquez	este estudio
Phylum: Nematoda							0.04	
Phylum: Nemertea							0.7	
Branchioma sp								0.12
<i>Chatziplana grubei</i>								0.04
Class: Turbellaria							0.1	
<i>Acerotisa</i> sp.	0.2							
<i>Gnesioceros sargassicola</i>	9.5	7.4			2.2	2.1		
<i>Chatziplana grubei</i>	0.8	2.6						
Order: Polycladida	0.03			2.4				
<i>Leptoplanidae</i>								0.01
Phylum: Sipuncula							0.1	

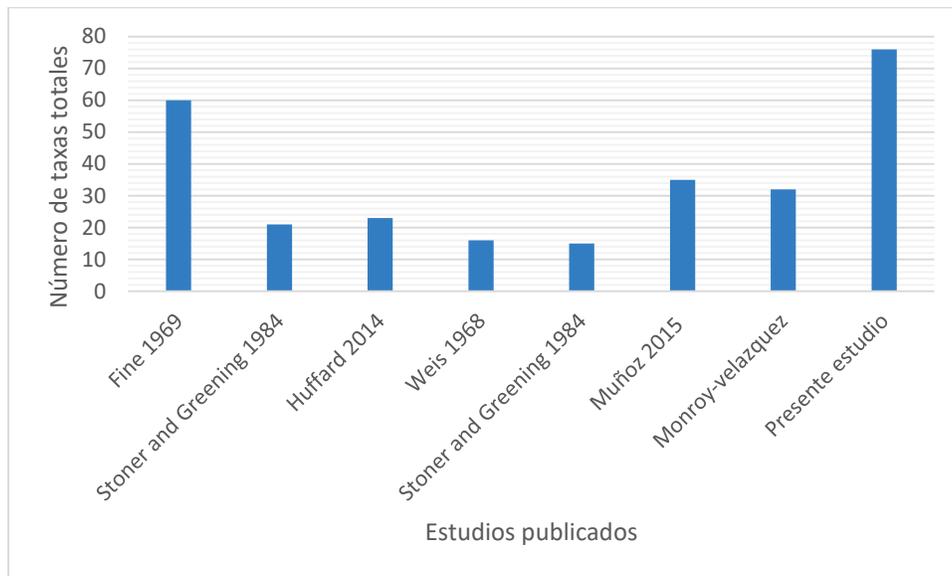


Figura 31. Numero de taxas totales reportados por estudios publicados.

El análisis de agrupamiento (clúster) que la diversidad registrada en 1966 por Weis (1968) en la Corriente del Golfo se separó del resto de las comunidades en todos los niveles de similitud elegidos (20, 40 y 60%), mientras que el registrado por Muñoz (2013) en el Golfo

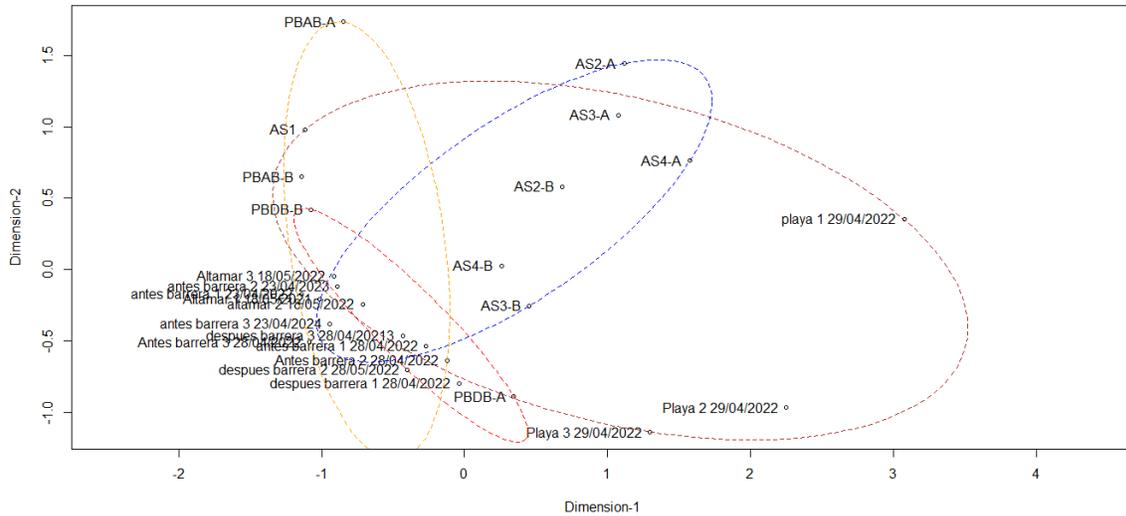


Figura 33. Análisis NMDS de los factores de sitios y zona y se marcan las zonas de muestreo Altamar (azul), Antes Barrera (naranja), Después de Barrera (rojo) y Playa (café).

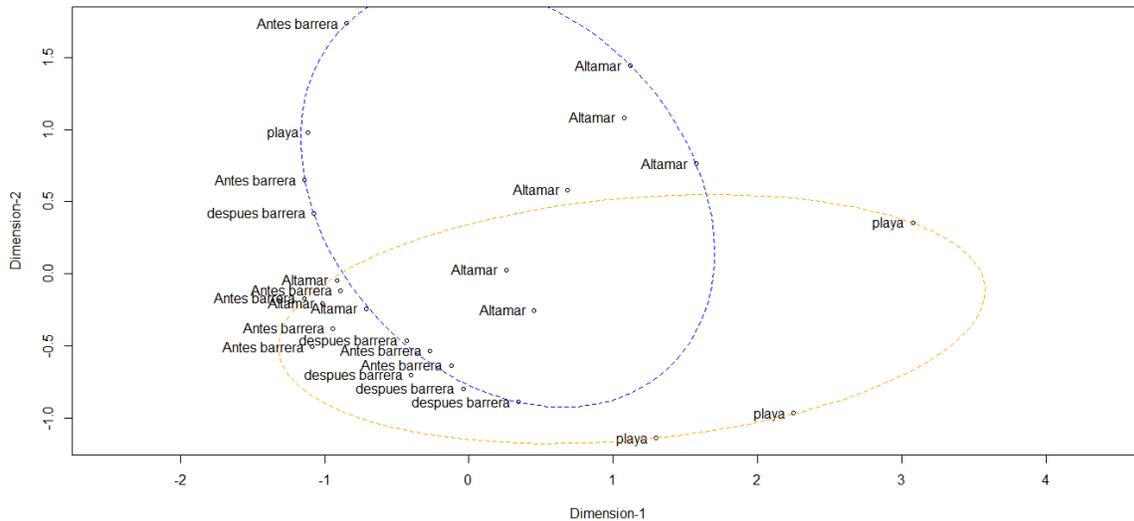


Figura 34. NMDS de los factores por zona y temporada, se encuentran etiquetados los sitios por la zona de muestra y las elipses marcan la temporada.

El segundo NMDS realizado presenta el comportamiento de los muestreos en los cambios de temporada, resaltando el cambio de la diversidad por temporada y zona de muestres,

con una alta similitud entre los sitios antes y después de la barrera y con una diferencia entre la zona de alta mar y playa (figura 34).

Se realizó un análisis PERMANOVA con los factores por zona y temporada, ver tabla 8. Se evidencio que existe una variación de las abundancias de acuerdo con la zona de colecta y la temporada ($p < 0.05$).

Tabla 8. resultados del análisis PERMANOVA.

FACTORES	DF	SMSQS	R2	F	PR(>F)
Zona	Df	SumOfSqs	R2	F	Pr(>F)
Zona		1.3553	0.25649	3.9605	0.001 ***
Temporada	1	1.0035	0.18991	8.7974	0.001 ***
Zona: Temporada	3	0.872	0.16503	2.5482	0.001 ***
Residual	18	2.0533	0.38857		
Total	25	5.2841	1		

SIGNIF. CODES: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

El análisis PERMANOVA realizado a la matriz de disimilitud de Bray-Curtis, determino que existe diferencia significativa en la variación de la diversidad de fauna asociada al sargazo según el factor de zona, soportando la hipótesis de que existe una variación de la diversidad según la zona donde se muestreo, de igual forma presenta que existe una diferencia significativa en la diversidad de fauna asociada al sargazo por temporada. Finalmente, el estadístico estableció que existe una diferencia significativa en la interacción de los factores de zona y temporada, decir que la diversidad asociada al sargazo difiere según la zona de muestreo y la temporada existiendo una variación en la diversidad de especies presentes de acuerdo con la zona de muestreo y la temporada (Tabla 8).

Discusión

Abundancia de especies

El sargazo pelágico que llega a las costas en la localidad de Puerto Morelos, presentó una diversidad de fauna asociada de 74 especies que pertenecen a 8 phylum, la cual es mayor a lo registrado por estudios similares realizados en distintas regiones; 60 taxas en el mar de sargazo (Fine, 1969), 16 taxas en la corriente del Golfo (Weis, 1968a), 35 taxas Golfo de México (Muñoz-Bautista *et al.*, 2015) y 32 taxas para el Caribe (Martin *et al.*, 2021; Monroy-Velázquez *et al.*, 2019). El aumento en el número de especies registradas e individuos fue representativo de la comunidad de fauna asociado al sargazo, el proceso de identificación permitió una mayor representación de las especies presentes en la comunidad de sargazo reflejadas en el análisis de rarefacción (Martin *et al.*, 2021).

La comunidad de sargazo pelágico registrada en el presente estudio, difiere en especies dominantes a lo publicado en los 70's, de acuerdo a los listados de especies y sus abundancias, existe un cambio en la comunidad de fauna asociada al sargazo (Fine, 1969; Weis, 1968a). En la revisión de los estudio que realizó huffard se observa que los estudios de los 70's había entre 3 a 5 especies dominantes entre gusanos, poliquetos, isópodos y anfípodos, sin embargo se menciona como gradualmente hay un cambio de las especies dominantes se observa que (Huffard, von Thun, Sherman, Sealey y Smith, 2014) los crustáceos principalmente con la especie de camarón *Latreutes fucorum* son la especie dominante (Huffard, von Thun, Sherman, Sealey, y Smith, 2014; Monroy-Velázquez *et al.*, 2019), reportando cambios en las especies dominantes. En el presente estudio, se registró dominancia de las especies de crustáceos, pero una baja en el riqueza, y cambios en la composición asociada al sargazo (Martin *et al.*, 2021).

Análisis de rarefacción

Para determinar si el esfuerzo de muestreo y registro de la fauna asociada al sargazo es significativo en la curvas de rarefacción realizada, presentó resultados similares a lo realizado por Martin *et al.* (2021) en las regiones del Atlántico tropical, Gran caribe , Golfo de México, corriente del Golfo y Mar de los Sargazos, quien mencionó que los trabajos de diversidad deben enfocarse no en los sitios, sino tener un enfoque más hacia una clasificación de las especies asociados al sargazo, por su morfotipo, sin embargo establece una relación de curvas muy similar a lo que se estableció en el presente estudio.

De acuerdo con los resultados, los muestreos realizados en la primera temporada no alcanzaron la curva de estabilidad, que se puede interpretar en una menor representatividad de la diversidad de fauna asociada al sargazo. En contraste, en la segunda temporada de muestreo, la curva de rarefacción determinó sitios que sí alcanzaron la estabilidad en la curva que define que se el esfuerzo de muestreo fue más adecuado.

Análisis de diversidad

Se realizaron los dos principales análisis complementarios de diversidad; el índice de diversidad de Shannon-Weiner y el análisis de dominancia de Simpson. Normalmente estos datos se presentan inversamente proporcionales es decir a mayor dominancia menor riqueza y a mayor riqueza menor dominancia (Moreno, 2010). donde se estableció la relación de la comunidad de sargazo en comparación con los reportado por otros estudios similares, si se encuentran diferencias en su comunidad.

El presente estudio presentó una alta diversidad de fauna asociada reportada, con 74 taxa y es de los pocos estudios realizados en la zona del Caribe, donde se puede determinar los cambios en la composición de la comunidad en los sitios mencionados (Huffard, *et al* 2014; Martín *et al.*, 2021), también se puede determinar una relación en la diversidad según la zona de colecta. Martín *et al.* (2021) determinaron dicha relación aunque, hay que considerar el factor de morfotipo (por especies de sargazo y variedad) de los manchones de colectados de sargazo (Martín *et al.*, 2021).

De acuerdo con los resultados, los sitios con mayor riqueza fueron los sitios ubicados hacia la zona alejada a la barrera de sargazo, nombrados como Antes Barrera, con una fuerte influencia de la zona arrecifal. Estos sitios por su complejidad son una zona de refugio y por lo tanto una mayor diversidad, siendo las especies más dominantes los crustáceos (Huffard, von Thun, Sherman, Sealey y Smith, 2014).

Se registró un cambio en la dominancia y riqueza de acuerdo con la temporada de muestreo que se realizó, y la zona de recolecta (Altamar, Antes Barrera, Después Barrera y Playa), esto tiene relación con los resultados obtenidos por Muñoz-Bautista *et al.* (2015) en la zona del Golfo de México en específico en la zona del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Muñoz-Bautista *et al.*, 2015). En contraste, cuando más cercanos se está a la costa, se presenta una mayor dominancia, que ya varios de los individuos en esta zona toleran el oleaje y se adaptan mejor a la interacción y dinámica de la costa.

Los sitios de Playa en la temporada 2, presentaron una mayor diversidad, sin embargo, no se pudo determinar si esta se dio porque en playa se presenta una mayor diversidad por su ubicación específica en los muestreos y si la interacción con la diversidad de la costa, influyeron con esta mayor diversidad. Dado que la recolecta de estos muestreos presentó una mayor presencia de sedimentos a partir de la cual se obtuvieron un número mayor de moluscos (conchas) presentes en los sedimentos que especies realmente asociadas al sargazo como se observó en este estudio

Análisis de disimilitud

Se obtuvieron agrupación por similitud de los sitios de acuerdo con su relación con su zona de ubicación en la primera temporada se formaron 3 grupos; el primero fue el grupo Antes Barrera y Después Barrera (PBAB Y PBDB con un de las réplicas de altamar) el segundo grupo son los sitios de Alta Mar (AS2 AS3 Y AS4) y el tercer grupo con los sitios más cercanos a la costa (Playa AS1). En la segunda temporada se formaron tres grupos también; el primer grupo con los sitios de la Playa el segundo grupo con los sitios que se encuentran junto a la Barrera y el tercer grupo con los sitios se encuentran en Altamar más lejanos.

De acuerdo con este análisis, se define que el comportamiento de las diversidades de las especies va en relación con la cercanía de la costa y cada uno como se pudo observar con las proporciones de diversidad y dominancia. Los grupos más diversos se distribuyen más cercanos a la barrera arrecifal y los demás se comportan de acuerdo con la cercanía de la costa o playa generando una mayor dominancia de especies y una diversidad característica de acuerdo con su ubicación. Resultados similares se han reportado por estudios realizados en el 2019 y 2021 para la zona del Golfo de México (Monroy-Velázquez *et al.*, 2019; Rodríguez-Muñoz *et al.*, 2021).

El registro de taxa identificado fue de 74 con especies asociadas al sargazo. resultado superior a los presentado por otros estudios en la zona (Monroy-Velázquez *et al.*, 2019; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019; Rodríguez-Muñoz *et al.*, 2021), pero menor a lo presentado en otros estudios en el Golfo de México y en el mar de sargazo (Martin *et al.*, 2021).

Parámetros fisicoquímicos

Se han realizado pocos estudios para evaluar el efecto del sargazo en la calidad de agua del Caribe mexicano (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019; Rodríguez-Muñoz *et al.*, 2021; van

Tussenbroek *et al.*, 2017). Las grandes concentraciones de sargazo tienen un impacto negativamente sobre la calidad de agua, donde su presencia ha reportado que hay una reducción en los niveles de oxígeno disuelto, pH y potencial redox, (van Tussenbroek *et al.*, 2017). En este estudio se obtuvieron los parámetros de pH, temperatura y conductividad, y se obtuvieron registros históricos para verificar si existía una relación con la diversidad de fauna asociada, dados los eventos de mortalidad masiva relacionado con la hipoxia causada por la descomposición del sargazo y su efecto negativo en la calidad de agua. Producto de las altas temperaturas, la hipoxia, en combinación con las concentraciones de amonio y H₂S son considerados como indicadores, y en el presente estudio se presentaron los resultados de pH, temperatura y Conductividad que pueden aportar como elementos de análisis para describir de mejor forma los efectos negativos de la descomposición de sargazo en la zona (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019, INE-SEMARNAP, 2000; CONABIO, 2005; Martín Merino Ibarra y Otero Dávalos, 1991).

Se pudo determinar por los análisis estadísticos, que no existe una correlación entre el pH y abundancia, en los diagramas de dispersión y determinación de la regresión lineal y correlación que no es significativa dicha regresión y la correlación entre los datos en muy débil ($r=0.04$) donde más cercano al 1 es más fuerte su relación y más cercano al 0 es débil la relación. Resultados similares fueron obtenidos con los análisis de la temperatura donde dicha relación tampoco fue significativa y fue mucho menos una correlación de $r=0.0009$. por lo que determinamos que los parámetros de pH, y temperatura no son determinantes en relación de la calidad de agua y la diversidad asociada.

Uno de los parámetros más importante podría ser el oxígeno disuelto, ya que se mencionan por varios autores como factor determinante (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019; Rodríguez-Muñoz *et al.*, 2021; van Tussenbroek *et al.*, 2017), en este estudio se registraron los valores en algunos sitios del muestreo, pero no se registraron en la primera temporada ni de manera uniforme en la segunda temporada, motivo por el cual no se pudieron incluir en el análisis, no obstante, se recomienda su análisis en futuros estudios ya podría ser una referencia directa para determinar cuál es su efecto en la diversidad con relación a la calidad de agua.

Análisis estadísticos

La aplicación del NMDS determina las relaciones que describe el análisis PERMANOVA en donde las muestra y su relación con la variables se visualizan a partir de matrices ordinales,

(Anderson, 2014). La relación que se tiene se determina con las dos variables establecidas de los muestreos por zona y por temporada. Dado que los datos de recolecta no fueron uniformes, el análisis PERMANOVA es ideal para su análisis al no requerir una distribución normal definida, dado que los muestreos por temporada fueron en la primera temporada 5 con 2 réplicas, y la segunda temporada fueron 6 muestreos con 3 réplicas el plantear un análisis no paramétrico no es necesario buscar una distribución definida permitiendo realizar la comparación entre distintas temporadas.

Conclusiones

Se recolectaron un total de 16,763 individuos en 74 taxa, El cual presenta un mayor número de taxas en comparación de estudios anteriores en la zona del caribe generando una mejor descripción de la diversidad de fauna asociada al sargazo.

El sargazo pelágico que arriba al Caribe mexicano y la zona de Puerto Morelos, presenta una diversidad de fauna asociada de 74 taxa, las especies se encuentran reportadas asociadas a este hábitat.

La diversidad está relacionada por distintas zonas, y las especies se distribuyen de acuerdo con la cercanía de costa, en tres zonas claramente marcadas por los análisis, la zona de playa la zona de barrera y la zona de altamar (más alejada de la costa).

Dentro los análisis de datos registrados, en la primera temporada la curva de rarefacción realizada determino que las especies registradas fueron las esperadas, y registradas en trabajos previos. En la segunda temporada, las especies registradas fueron también similares a las obtenidas en la primera temporada.

Se encontró que no existe correlación entre los dos parámetros fisicoquímicos determinados de pH y Temperatura con la abundancia.

La comparación realizada entre la taxas registrados con otros estudios realizados en distintas zonas, y la comparación de la estructura de la comunidad de fauna en muestras de sargazo flotante reportada en siete estudios realizados en cuatro regiones, comparada con el presente estudio determinó que la comunidad aquí reportada presento el mayor número de taxas reportados con 76, el estudio para el Mar de los Sargazos reporto 60 taxa, el resto de los estudios reportaron menor número de especies, para la descripción de la diversidad de fauna asociada en el Caribe.

A partir del análisis NMDS se identificaron las agrupaciones por zona (Altamar, Antes Barrera, Después Barrera y Playa), lo que determina que existe una variación significativa de la diversidad asociada al sargazo de acuerdo a la zona donde se muestrea y a la temporada muestreo, adicional a esta información la comparación dela diversidad descrita en este estudio en comparación a lo descrito por otros autores, la comunidad de sargazo muestra un tendencia a la dominancia de algunas especies de crustáceos y una disminución en la riqueza de las especies identificadas en la comunidad de sargazo, Todas

las especies descritas en el presente estudio han sido descritas para la comunidad de sargazo en otras regiones del Caribe y Golfo, sin embargo, se requieren nuevos análisis a mayor escala y de forma sistemática en distintas temporadas y años.

Bibliografía

Aké-Castillo, J. A., Okolodkov, Y. B., Rodríguez-Gomez, C. F., y Campos-Bautista, G. (2014). Florecimientos algales nocivos y contaminación en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2013). In A. V. Botello, J. Rendón, V. Osten, J. A. Benítez, y G. Gold-Bochot (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (Issue January 2015, pp. 133–146). UAC, UNAM_ICMYL, CINVESTAV-IPM Unidad Mérida.

Anderson, M. J. (2014). *Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA)*. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841>

Azanza Ricardo, J., y Pérez Martín, R. (2016). Impacto de la acumulación de sargazo del verano del 2015 sobre las tortugas marinas de playa La barca, península de Guanahacabibes. *Revista de Investigaciones Marinas*, 36(1), 54–62. <http://www.rim.uh.cu/index.php/RIM/article/view/296>

Bortone, S. A., Hastings, P. A., y Collard, S. B. (1977). The Pelagic - Sargassum Ichthyofauna of the Eastern Gulf of Mexico. *Northeast Gulf Science*, 1(2), 60–67. <https://doi.org/10.18785/negs.0102.02>

Brooks, M. T., Coles, V. J., y Coles, W. C. (2019). Inertia Influences Pelagic Sargassum Advection and Distribution. *Geophysical Research Letters*, 46(5), 2610–2618. <https://doi.org/10.1029/2018GL081489>

Brooks, M. T., Coles, V. J., Hood, R. R., y Gower, J. F. R. (2018a). Factors controlling the seasonal distribution of pelagic Sargassum. *Marine Ecology Progress Series*, 599, 1–18. <https://doi.org/10.3354/meps12646>

Brooks, M. T., Coles, V. J., Hood, R. R., y Gower, J. F. R. (2018b). Factors controlling the seasonal distribution of pelagic Sargassum. *Marine Ecology Progress Series*, 599. <https://doi.org/10.3354/meps12646>

Cabrera, S., Irigaray, I., y Míguez, D. (2010). Estudio comparativo de la determinación del tamaño de partícula por dos métodos: tamizado en seco y difracción láser. *Revista Del Laboratorio Tecnológico Del Uruguay*, 325(5), 23–28.

INE-SEMARNAP. (2000). *Programa de Manejo Parque Natural Arrecifes de Puerto Morelos* (1a edición). Instituto Nacional de Ecología.

Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., Masia, L., y Silva, R. (2020). Massive influx of pelagic sargassum spp. On the coasts of the mexican caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities. *Water*

(Switzerland), 12(10), 1–24. <https://doi.org/10.3390/w12102908>

Cházaro-Olvera, S., Hernández-Vidal, G. A., Ortiz, M., y Winfield, I. (2017). First record of the association of *Synalpheus herricki* and *S. pandionis* with *Aiolochroia crassa* in the parque nacional arrecife Puerto Morelos, Quintana Roo, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3), 617–620. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572017000300017>

CONABIO. (2005). *Ficha técnica para la evaluación de sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México*.

Fine, M. L. (1970). Faunal variation on pelagic *Sargassum*. *Marine Biology*, 7(2), 112–122. <https://doi.org/10.1007/BF00354914>

Fine, Michael L. (1969). Faunal Variation on Pelagic *Sargassum*. *Dissertations, Theses, and Master Projects*. <https://doi.org/10.25773/v5-bn07-7987>

González-solis, A., y Torruco, D. (2015). Flora intermareal de las costas rocosas. *Revista de Biología Tropical/International Journal of Tropical Biology and Conservation Fauna*, 63(4), 1–8.

Huffard, C. L., von Thun, S., Sherman, A. D., Sealey, K., y Smith, K. L. (2014). Pelagic *Sargassum* community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*, 161(12), 2735–2751. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2539-y>

Johns, E. M., Lumpkin, R., Putman, N. F., Smith, R. H., Muller-Karger, F. E., T. Rueda-Roa, D., Hu, C., Wang, M., Brooks, M. T., Gramer, L. J., y Werner, F. E. (2020). The establishment of a pelagic *Sargassum* population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102269>

Johnson, D. R., Franks, J. S., Oxenford, H. A., y Cox, S. A. L. (2021). Pelagic *sargassum* prediction and marine connectivity in the tropical atlantic. *Gulf and Caribbean Research*, 31(1), GCFI20–GCFI30. <https://doi.org/10.18785/GCR.3101.15>

Laffoley, D. d'A., Roe, H. S. J., Angel, M. V, Ardon, J., Bates, N. R., Boyd, I. L., Brooke, S., Buck, K. N., Carlson, C. a, Causey, B., Conte, M. H., Christiansen, S., Cleary, J., Donnelly, J., Earle, S. a, Edwards, R., Gjerde, K. M., Giovannoni, S. J., Gulick, S., ... Vats, V. (2011). The protection and management of the Sargasso Sea: The golden floating rainforest of the Atlantic Ocean. Summary Science and Supporting Evidence Case. In *Sargasso Sea Alliance: The golden floating rainforest of the Atlantic Ocean*.

Martin, L. M., Taylor, M., Huston, G., Goodwin, D. S., Schell, J. M., y Siuda, A. N. S. (2021). Pelagic *Sargassum* morphotypes support different rafting motile

epifauna communities. *Marine Biology*, 168(7), 1–17.
<https://doi.org/10.1007/s00227-021-03910-2>

Merino Ibarra, M., y Otero Dávalos, L. (1991). *Atlas ambiental costero de Puerto Morelos, Quintana Roo* (p. 80).

Monroy-Velázquez, L. V., Rodríguez-Martínez, R. E., Tussenbroek, B. I. Van, Aguiar, T., Solís-weiss, V., y Briones-Fourzán, P. (2019). Motile macrofauna associated with pelagic Sargassum in a Mexican reef lagoon. *Journal of Environmental Management*, 252(September).
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109650>

Morelli, E., y Verdi, A. (2014). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1160–1170.
<https://doi.org/10.7550/rmb.45419>

Moreno, C. E. (2010). *Metodos para Medir la Biodiversidad*. Sociedad Entomologica Aragonesa(SEA).

Muñoz-Bautista, A. N., Aké-Castillo, A. J., Granados-Barba, A., y Pérez-España, H. (2015). Macrofauna asociada a Sargassum flotante (Fucales: Sargaceae) en el Sistema Arrecifal Veracruzano, México. In G. Horta-Puga, J. L. Tello-Musi, A. Beltrán-Torres, J. P. Carricart-Ganivet, J. D. Carriquiry, y J. A. Villaescusa-Celaya (Eds.), *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México* (pp. 141–158). Universidad Autonoma de Campeche.

Niermann, U. (1986). Distribution of Sargassum natans and some of its epibionts in the Sargasso Sea. *Helgolander Meeresuntersuchungen*, 40(1986), 343–353.

Putman, N. F., Goni, G. J., Gramer, L. J., Hu, C., Johns, E. M., Trinanés, J., y Wang, M. (2018). Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, 165(May), 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.06.009>

Richards, W. J. (2006). Early Stages of Atlantic Fishes: An Identification Guide for the Western Central North Atlantic. Volumes I and II. In E. by W. J. Richards. (Ed.), *The Quarterly Review of Biology* (Vol. 81, Issue 2). CRC Marine Biology Series. <https://doi.org/10.1086/506102>

Robledo, D., Vázquez-Delfín, E., Freile-Pelegrín, Y., Vázquez-Elizondo, R. M., Qui-Minet, Z. N., y Salazar-Garibay, A. (2021). Challenges and Opportunities in Relation to Sargassum Events Along the Caribbean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8(July), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.699664>

Rodríguez-Martínez, R.E., van Tussenbroek, B., y Jordán-Dahlgren, E. (2017).

Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015). *Florecimientos Algales Nocivos En México, May*, 352–365.

Rodríguez-Martínez, Rosa Eliza, Medina-Valmaseda, A. E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L. V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., Vásquez-Yeomans, L., Francisco, V., y García-Rivas, M. C. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. *Marine Pollution Bulletin*, 146(June), 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>

Rodríguez-Muñoz, R., Muñoz-Castillo, A. I., Euán-Avila, J. I., Hernández-Núñez, H., Valdés-Lozano, D. S., Collí-Dulá, R. C., y Arias-González, J. E. (2021). Assessing temporal dynamics on pelagic Sargassum influx and its relationship with water quality parameters in the Mexican Caribbean. *Regional Studies in Marine Science*, 48(September), 102005. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102005>

Rodriguez Gil, L. A., Reyes Sosa, C. F., y Carrillo R, Y. (2007). Determinación de la Marea Roja en las costas del Estado de Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 59, 249–253.

Saldaña, M. del P., Izurieta, J., Sánchez Chavez, J., García Rojas, J., Gómez Balandra, M. A., Martínez Jiménez, M., Bravo Inclán, L., Vazquez Bustos, C., y Huerto Delgadillo, R. (2019). *Diagnóstico de calidad del agua y caracterización de las dos especies de sargazo que arriban a las costas de Cancún, Puerto Morelos y Playa del.* <http://187.189.183.55/bitstream/handle/20.500.12013/2194/TC-1907.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Schell, J. M., Goodwin, D. S., y Siuda, A. N. S. (2015). Recent sargassum inundation events in the caribbean: Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*, 28(3), 8–10. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2015.70>

SEMARNAT. (2021). *Lineamientos Técnicos y de Gestión para la Atención de la Contingencia Ocasionada por Sargazo en el Caribe Mexicano y el Golfo de México* (Primera ed). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Sissini, M. N., De Barros Barreto, M. B. B., Szechy, M. T. M., De Lucena, M. B., Oliveira, M. C., Gower, J., Liu, G., De Oliveira Bastos, E., Milstein, D., Gusmão, F., Martinelli-Filho, J. E., Alves-Lima, C., Colepicolo, P., Ameka, G., De Graftjohnson, K., Gouvea, L., Torrano-Silva, B., Nauer, F., Marcos De Castronunes, J., ... Horta, P. A. (2017). The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean - Likely scenarios. *Phycologia*, 56(3), 321–328. <https://doi.org/10.2216/16-92.1>

Stoner, A. W., y Greening, H. S. (1984). Geographic variation in the macrofaunal

associates of pelagic Sargassum and some biogeographic implications. *Marine Ecology Progress Series*, 20(1984), 185–192.

Suárez, A., y Martínez-Daranas, B. (2018). Adaptación basada en Ecosistemas: alternativa para la gestión sostenible de los recursos marinos y costeros del Caribe. In *Red CYTED 410RT0396* (Issue September). http://www.cyted.org/sites/default/files/adaptacion_basada_en_ecosistemas._2018.pdf

van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., y Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>

Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., y Montoya, J. P. (2019). The great Atlantic Sargassum belt. *Science*, 364(6448), 83–87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>

Weis, J. S. (1968a). Fauna Associated with Pelagic Sargassum in the Gulf Stream. *American Midland Naturalist*, 80(2). <https://doi.org/10.2307/2423550>

Weis, J. S. (1968b). Fauna Associated with Pelagic Sargassum in the Gulf Stream. *Source: The American Midland Naturalist*, 80(2), 554–558.

Zapata-Ramírez, P. A., Blanchon, P., Oliosio, A., Hernandez-Nuñez, H., y Sobrino, J. A. (2013). Accuracy of IKONOS for mapping benthic coral-reef habitats: A case study from the Puerto Morelos Reef National Park, Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 34(9–10), 3671–3687. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.716922>