



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MARINA Y LIMNOLOGÍA

ESTUDIO DE LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DEL SARGAZO EN PLAYA LA
ANGOSTA Y NOMBRE DE DIOS, COLÓN, PANAMÁ

Por:

Kevin I. Gómez Cortés

Quira K. Michel Damián

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN
BIOLOGÍA CON ORIENTACIÓN EN
BIOLOGÍA MARINA Y
LIMNOLOGÍA

PANAMÁ, REPUBLICA DE PANAMÁ

2024



TRIBUNAL EXAMINADOR

Título:

Estudio de la abundancia y distribución del Sargazo en Playa La Angosta y Nombre de Dios, Colón, Panamá.

Por:

Kevin Isaac Gómez Cortés

8-968-1709

Quira Kamil Michel Damián

8-865-2362

Trabajo de Graduación presentado a consideración de la Escuela de Biología como requisito parcial para optar por el título de Licenciatura en Biología con Orientación en Biología Marina y Limnología.

PROF. EDINIEL TREJOS

Asesor Principal

PROF. ARAMIS AVERZA

Asesor

PROF. LEYSON NAVARRO

Asesor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis queridos padres, Ana y Alfredo cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificio han sido mi mayor inspiración y sostén en la búsqueda de mis sueños. Sin su aliento y orientación, este camino habría sido mucho más difícil de recorrer. A mi adorada abuela por su constante apoyo y cariño a lo largo de mi vida. A mis respetados mentores, quienes con su dedicación y orientación han sido faros de sabiduría en mi trayectoria académica. Por último, dedico este trabajo a mis amigos, fuente constante de alegrías, su ánimo sirvió como un faro de luz en los momentos difíciles y una celebración en los momentos de éxito.

- Kevin I. Gómez Cortés

A mis padres Quira y Adonis, los pilares en mi vida, que han hecho posible todo lo que he conseguido; por haberme inculcado desde pequeña lo importante de ser una persona íntegra, responsable, y perseverante, ante cualquier adversidad que se cruzara en mi camino; que, si otros han podido, yo soy igual de capaz de lograr aquello que me proponga, siempre a mi ritmo. A mis hermanos Adonis y Aarón quienes han sido una fuente constante de felicidad y motivación para mí, gracias por darme ánimos cuando más lo necesitabas incluso cuando llegaba a dudar de mi capacidad. A mis familiares, por siempre tenerme en sus plegarias, agradezco su colaboración y apoyo en este proceso, y por involucrarse en cada paso del camino. Por último, pero no menos importante, a mis amigos más cercanos, que estuvieron conmigo en cada etapa de este proyecto, desde la elección del tema, hasta la redacción del trabajo. no hay palabras suficientes para expresar mi amor y gratitud.

- Quira K. Michel Damián

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios, por guiarnos durante este proceso, darnos fortaleza e iluminarnos en momentos de desasosiego, gracias por cada momento vivido y cada lección de vida.

Agradecemos a nuestros padres, estamos profundamente agradecidos por su inquebrantable apoyo y por ser nuestra fuente de fortaleza en cada paso del camino.

También agradecer al profesor Ediniel Trejos por el apoyo incondicional que nos brindó, por orientarnos y compartir su experiencia con nosotros. De la misma forma, agradecemos al profesor Aramis Averza por compartir sus conocimientos con nosotros. Sus enseñanzas han enriquecido significativamente nuestro trabajo y contribuido de manera fundamental a nuestro desarrollo académico. Además, agradecer al profesor Leyson Navarro cuyas fotos y conocimiento sirvieron de apoyo y guía en la realización de este trabajo.

Estamos eternamente agradecidos con el Sr. Adolfo Méndez por permitirnos entrar a Playa La Angosta sin problemas, además de compartir las problemáticas de la comunidad y guiarnos en el proceso para entender el sargazo en esta playa.

Agradecemos a Yaremiz Jordan e Iliana Tuñón por su constante disposición y ayuda incondicional durante nuestra estancia en su universidad. Su amabilidad y apoyo fueron fundamentales para facilitarnos lo que necesitábamos.

Gracias a Jonathan Parris, Javiera Mora, Wiguidili Crespo, Lineylis Ríos, Jaime Espino, José Vergara y Daneira Brown por proporcionar las imágenes del sargazo durante los últimos meses. Su colaboración fue fundamental para enriquecer nuestro trabajo y brindar una perspectiva visual invaluable sobre el tema.

Agradecemos sinceramente a nuestros amigos por su constante apoyo, cariño y presencia en nuestras vidas. Su amistad ha sido una fuente de alegría y fortaleza en los momentos difíciles, y nos han acompañado en cada paso del camino. Estamos profundamente agradecidos por su valioso apoyo y por ser parte integral de nuestras vidas,

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
I. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Justificación	5
1.2 Antecedentes	6
1.3 Hipótesis	11
1.3.1 Hipótesis para Mann-Whitney	11
1.3.2 Hipótesis para Correlación de Pearson	11
1.4 Objetivo general	11
1.5 Objetivos específicos	11
II. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1 Área de estudio	12
2.2 Fase de campo	13
2.3 Fase de laboratorio	15
2.4 Cálculo para el efecto de las mareas	16
2.5 Pruebas estadísticas	18
2.5.1 Prueba de Shapiro-Wilk	18
2.5.2 Prueba de Mann-Whitney	18
2.5.3 Prueba de Correlación de Pearson	19
III. RESULTADOS	20
3.1 Efecto de las mareas	22
3.2 Análisis estadístico	25
3.2.1 Análisis de la Biomasa	25
3.2.2 Análisis de tendencia	27
3.2.3 Prueba de Shapiro-Wilk	28
3.2.4 Prueba de Mann-Whitney	28
3.2.5 Prueba de Correlación de Pearson	28
4.1 Análisis detallado de la especie dominante encontrada	36
4.1.1 Sargassum fluitans (Børgesen) Børgesen, 1914	37

4.2 Interpretación de los resultados estadísticos	39
V. GESTIÓN Y MITIGACIÓN	41
5.1 Uso y perspectiva del sargazo en la historia.	41
5.2 Procesamiento del sargazo para obtención de biogás.....	42
5.3 Procesamiento del sargazo para la creación de bloques de alimentos para rumiantes	43
5.4 Empleo del sargazo para la biorremediación de efluentes	44
5.5 Medios de control para la proliferación de esta alga.....	45
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS.....	50
ANEXO.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Océano Atlántico y principales corrientes oceánicas.....	8
Figura 2. Vista panorámica de la zona de muestreo en la Playa La Angosta.	13
Figura 3. Vista panorámica de la zona de muestreo en Playa Nombre de Dios	13
Figura 4. Promedio de la marea en metro para Playa Nombre de Dios y Playa La Angosta	24
Figura 5. Rangos de distribución del peso de la biomasa pesada de sargazo a lo largo de los meses de colecta en Playa Nombre de Dios.....	25
Figura 6. Rangos de distribución del peso de la biomasa pesada de sargazo a lo largo de los meses de colecta en Playa La Angosta.....	26
Figura 7. Análisis de tendencia para cada playa con respecto a la biomasa promedio pesada por mes.....	27
Figura 8. Ejemplar de Sargassum fluitans y sus partes características.	37
Figura 9. Estípites del tallo de S. fluitans presenta espinas.....	38
Figura 10. Aerocistos de S. fluitans cuya forma es ovalada.....	38

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cronograma de Investigación: fechas y horarios registrados	14
Cuadro 2. Libras de sargazo por cuadrante pesado por mes en Playa Nombre de Dios	20
Cuadro 3. Libras de sargazo por cuadrante pesado por mes en Playa La Angosta.....	21
Cuadro 4. Promedio de libras de sargazo encontrado en las playas Nombre de Dios y La Angosta.....	22
Cuadro 5. Altura de la marea según la hora de llegada y salida para Playa Nombre de Dios y Playa La Angosta.	23
Cuadro 6. Promedio de la marea en metros para Playa Nombre de Dios vs Playa La Angosta.	23

RESUMEN

El sargazo pertenece al grupo de las macroalgas y es conocido por su capacidad para formar grandes extensiones flotantes en los océanos tropicales y subtropicales, siendo más común en el Atlántico. Desde 2011, se ha observado un aumento en la cantidad de sargazo que llega a las costas, afectando a numerosos países. Aunque estas algas son fundamentales como fuente de alimento y refugio para diversos organismos marinos, su llegada excesiva puede tener efectos negativos en los ecosistemas costeros y las comunidades locales.

En un esfuerzo por comprender mejor este fenómeno, se llevó a cabo un monitoreo durante la temporada lluviosa en Panamá. Este monitoreo se centró en dos playas en el área de Colón: playa La Angosta y playa Nombre de Dios. La primera, una playa turística intervenida por el hombre y la segunda, utilizada principalmente por pescadores locales. Se realizaron mediciones mensuales de la cantidad de sargazo presente en cada playa, encontrando que Nombre de Dios registró mayores cantidades en mayo (14.15 lb por cuadrante), mientras que La Angosta tuvo una presencia menor en el mismo período (3.86 lb). Desde julio hasta noviembre, la presencia de sargazo fue mínima en ambas playas. En diciembre se observó un aumento en la cantidad de sargazo, aunque menor que en mayo.

El análisis de los datos utilizando el test de Mann-Whitney reveló que las cantidades de sargazo entre Nombre de Dios y La Angosta fueron similares y no hubo una diferencia significativa entre ellas durante el período estudiado. Además, se investigó si las alturas de marea influían en la cantidad de sargazo, encontrando mediante un análisis de Correlación de Pearson que no había una relación significativa entre estas variables en ninguna de las dos playas durante el período de investigación.

El monitoreo del sargazo es esencial debido a sus posibles consecuencias en el medio ambiente, la economía y la sociedad. Un exceso de sargazo puede perturbar los ecosistemas costeros, impactar la variedad de vida marina y amenazar actividades económicas clave como el turismo y la pesca. Además, esta alga puede ocasionar efectos perjudiciales en la salud humana.

Palabras clave: Arribazón, macroalga, hora momento, aerocisto, estacionalidad

ABSTRACT

Sargassum, belonging to the group of macroalgae, is known for its ability to form large floating expanses in tropical and subtropical oceans, being more common in the Atlantic. Since 2011, there has been an observed increase in the amount of sargassum reaching the shores, affecting numerous countries. Although these algae are crucial as a source of food and habitat for various marine organisms, their excessive arrival can have negative effects on coastal ecosystems and local communities.

In an effort to better understand this phenomenon, monitoring was conducted during the rainy season in Panama. This monitoring focused on two beaches in the Colón area: La Angosta Beach and Nombre de Dios Beach. The former, a tourist beach intervened by humans, and the latter primarily used by local fishermen. Monthly measurements of the amount of sargassum present on each beach were taken, finding that Nombre de Dios registered higher amounts in May (14.15 lb. per quadrant), while La Angosta had a smaller presence during the same period (3.86 lb.). From July to November, the presence of sargassum was minimal on both beaches. In December, an increase in the amount of sargassum was observed, although less than in May.

Analysis of the data using the Mann-Whitney test revealed that the amounts of sargassum between Nombre de Dios and La Angosta were similar, and there was no significant difference between them during the study period. Additionally, it was investigated whether tide heights influenced the amount of sargassum, finding through a Pearson Correlation analysis that there was no significant relationship between these variables on either beach during the research period.

Monitoring of sargassum is essential due to its potential consequences on the environment, economy, and society. An excess of sargassum can disrupt coastal ecosystems, impact marine biodiversity, and threaten key economic activities such as tourism and fishing. Furthermore, this seaweed can cause harmful effects on human health.

Keywords: Sargassum influx, macroalgae, seasonal monitoring, aerocyst, seasonality.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la aparición del sargazo en Panamá no es para nada un evento reciente. La aparición de este data de años atrás. Desde 2011, la presencia el sargazo es cada vez más común, donde cada año provoca pérdidas significativas en el turismo, pero también impacta al ecosistema. Y es que el sargazo es una problemática cuyo impacto se extiende en el Océano Atlántico, teniendo reportes en la gran mayoría de países que colinden con la costa caribeña. Según Novillo (2021) la extensión del sargazo puede variar ya que depende principalmente de la cantidad de algas que convergen, pero, sobre todo, su distribución se ve afectada por las corrientes marinas, y es que el sargazo proviene en su mayor parte del llamado Mar de los Sargazos que se encuentra delimitado por la corriente del golfo, la corriente del atlántico norte, la corriente canaria y la corriente del atlántico norte ecuatorial.

El sargazo es una macroalga pelágica, flota sobre la superficie acuática y no se encuentra ligada al sustrato del fondo marino como puede ser el caso de otros géneros de alga. Dentro de la estructura del sargazo destacan sus rizoides, estipes y láminas, análogas a las raíces, tallos y hojas de las plantas vasculares. Sin embargo, la característica más distintiva del sargazo es, sin duda, las pequeñas vesículas llamadas aerocistos y contienen gases con el que agregan flotabilidad a la estructura de la planta y le permiten flotar en la superficie (NOAA Ocean Exploration, 2021).

Los parches de sargazo pueden llegar a ocupar grandes espacios en el océano, si bien es cierto en cantidades saludables, el sargazo es un hábitat crítico para las criaturas marinas (Chieffi, 2023). Este hábitat flotante proporciona alimento, refugio y zonas de reproducción a una variedad de criaturas, incluidas tortugas marinas, aves marinas, cangrejos, peces y otros animales. (Ojeda, 2019). El sargazo no es destructivo por sí sólo y tiene unas grandes capacidades de reproducción (Novillo, 2021), pero el alga de manera masiva puede tener un impacto negativo en el ecosistema y las economías locales, además de interferir en la transmisión de luz hacia abajo de la columna de agua, afectando en especial a los pastos marinos y corales. (Torres, 2019).

Según información de la NOAA Ocean Exploration (2021), cuando el sargazo pierde su flotabilidad, se hunde en el lecho marino y proporciona energía en forma de carbono a los peces e invertebrados de las profundidades marinas, lo que constituye una adición potencialmente importante a la red alimentaria de las profundidades marinas.

La descomposición del sargazo en el mar no representa un problema significativo. Sin embargo, lo es si hablamos del sargazo que llega a la costa porque se debe tomar en cuenta que la descomposición de cualquier tipo de biomasa produce gases como el ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y amoníaco que pueden ser tóxicos, si se tiene una exposición constante a ellos (Chávez et al., 2020). La exposición a estos gases puede provocar irritación de las vías respiratorias superiores, náuseas, dolor de cabeza, confusión y en situaciones extremas; lesiones pulmonares, neurológicas y cardiovasculares (Resiere et al., 2021).

Las especies de sargazo ocupan una gran variedad de hábitats en la zona intermareal y submareal sobre el sustrato rocoso, roca coralina, fondos de arena, sustratos fangosos o flotando libremente (Suárez, 2008).

En las costas, el mayor problema de los arribazones atípicos del sargazo es que con su llegada excesiva e incontrolable empieza a acumularse en las playas y este se descompone, generando numerosos problemas medioambientales, económicos y sociales. Los más perceptibles tienen que ver con nuestros sentidos: las algas empiezan a oler mal al descomponerse, además de que entre más algas se acumulan quitan la vistosidad a las playas, siendo incómodo caminar en la playa afectando al turismo de manera significativa.

El trabajo investigativo a continuación tiene como propósito dar a conocer la presencia de estas algas en nuestro caribe panameño, específicamente en las playas La Angosta y Nombre de Dios con lo que logramos monitorear el alga en estas regiones. Además, buscamos ofrecer soluciones para abordar el problema del alga si llega a convertirse en un desafío mayor en los años venideros. Para demostrar dicha información, desglosamos el trabajo en varios capítulos que abarcan desde las razones que nos hicieron estudiar el alga hasta el planteamiento, solución y recomendación de las problemáticas encontradas

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Justificación

Se ha registrado en numerosos artículos la capacidad que posee el sargazo para absorber elevadas concentraciones de metales pesados y una gran variedad de elementos tóxicos, los cuales, a la larga, terminan reflejándose como enfermedades que pueden causar disfunciones gastrointestinales, daños vasculares, cáncer, entre otras. Además de esto, también podría causar estragos en diferentes ecosistemas marinos, ya que los metales pesados que se aglomeran en él podrían llegar a acumularse a lo largo de la cadena trófica, mostrando concentraciones cada vez más altas al ascender de nivel trófico. (López-González et al., 2023)

A partir del 2011, se notó un incremento de las poblaciones de sargazo en las costas caribeñas, quedando varadas en las playas y marcando un impacto negativo en las actividades socioeconómicas de los residentes de las comunidades costeras de los diferentes países caribeños (Arratibel, 2022). En el 2022, se marcó un incremento inusual por parte de las poblaciones del sargazo en la costa arriba y costa abajo de Colón en Panamá. Anteriormente, la presencia de esta alga en nuestras costas era bastante regular, comparada con las costas de otros países del Caribe, pero al pasar los años, los arribazones en nuestras costas han ido en ascenso, afectando la economía, y el turismo en los sectores costeros del país. («Costas del Caribe panameño presentan proliferación inusual de sargazo», 2022).

Considerando los testimonios de los residentes de varias comunidades de la costa arriba de Colón, tomamos el trabajo de contabilizar las cantidades de poblaciones del sargazo en diferentes playas de la costa arriba de Colón, y así poder dejar registro de aproximadamente cuál sería la cantidad de organismos del sargazo que quedan varadas en nuestras costas y, a la vez, marcar cuáles son las temporadas del año en que más arribazones hay. Además de esto, se seleccionó una playa que es constantemente intervenida por el hombre y otra que no, para poder observar que tan diferente son las cantidades contabilizadas de las poblaciones del sargazo y si existe una diferencia entre las afectaciones causadas por las comunidades del sargazo en ambas playas.

1.2 Antecedentes

La presencia del sargazo no se debe ver como un acontecimiento reciente, si bien es cierto que en los últimos años este ha tenido un incremento en cuanto al avistamiento y la cantidad de alga que llega a nuestras costas, la realidad es que esta alga ya se encontraba desde hace muchos años, siendo descrita por Cristóbal Colón (1492) en una carta escrita el 3 de octubre de 1492 donde mencionaba “Aparecieron parcelas, yerba mucha, alguna vieja y otra muy fresca, traía como frutas”. De esta misma forma Acosta (1578), médico y naturalista describió lo que hoy en día es el registro más antiguo conocido acerca del sargazo en su obra “Tractado de las drogas, y medicinas de las Indias Orientales” en el que escribió “Aparece la mar llena de esta yerba, llamada sargazo. Es de un palmo: los ramillos delgados y sin raíz: véase toda el agua cubierta de esta yerba en montones pegada y liada una con otra y especulando bien le ve venir del profundo de la mar tan liada, y envuelta, que parece cada montón una grande mata.”

Alexander von Humboldt fue el primer científico en estudiar el Mar de los Sargazos, ubicada entre Bermudas y Bahamas, donde concluyó que existía una asociación comunitaria constituida por especies de algas y una comunidad animal. La zona estudiada era conocida por los navegantes ya que aprovechaban la Corriente del Golfo para poder regresar hacia España. (Humboldt – Colón, 1892).

En Panamá existen arribazones desde hace años. Sin embargo, no ha sido monitoreado de forma profunda en nuestras costas. Se tienen reportes por parte de locales y conocimientos de parte de los pescadores de la zona desde Bocas del Toro hasta Guna Yala. Según los pescadores y locales, los meses más críticos en Panamá son de octubre hasta marzo y, dependiendo de la zona, algunas provincias se ven afectadas primero y otras después.

Si nos centramos en el área a estudiar en Colón, tanto para playa La Angosta como para Nombre de Dios, los pescadores dan a octubre como un mes muy crítico con respecto a la llegada del sargazo y es que se tienen registros en los que la arribada es tanta que el alga que les llega a cubrir gran parte de la playa, afectando no solo el turismo, también la pesca evitando la movilización de las lanchas.

En Panamá, el único registro en el que se hace referencia a una proliferación inusual del alga se da en Colón en el 2022 cuando Marino Ábrego, jefe del Departamento de Manejo de Recursos

Costeros y Marinos de la Dirección de Costas y Mares del Ministerio de Ambiente, manifestó a la prensa “La presencia de sargazo en Panamá es inusual, ya que anteriormente esta alga llegaba a las costas panameñas, pero en menor cantidad a la que se ha presenciado en los últimos días en las playas de Colón.”. Dentro de sus declaraciones destacó que las invasiones de sargazo no afectaban a las localizaciones a lo largo del año y que la limpieza en las costas era un reto importante ya que necesita de monitoreo y creación de normas necesarias para evitar perturbar otros organismos marinos. De igual forma, destacó que ante un escenario en el que el alga invada las costas en altas concentraciones, lo necesario sería realizar acciones que encaminen a un proyecto en el que se realicen estudios del alga, incluyendo un centro de investigación para crear planes de gestión para mitigar el alga y generar proyectos para el aprovechamiento del alga. (Mi Ambiente, 2022).

Durante el año era muy común que cantidades de sargazo llegaran a las costas del Golfo de México provenientes del Mar de los Sargazos, estos arribazones eran intermitentes y temporales, no transportaban una gran cantidad de algas (Frazier, 2014). Se cree que los cambios en el flujo y distribución del sargazo están directamente relacionados con un movimiento abrupto de las corrientes oceánicas, el aumento de la temperatura del agua de mar y los vientos anormales provocados por este problema ambiental (Sissini et al., 2017; Chávez et al., 2020).

Modelos numéricos oceanográficos han demostrado que cuando la Corriente del Caribe fluye ésta ingresa al Mar Caribe, las aguas superficiales ingresan a través de los pasajes de las islas de Barlovento del sur de Granada, San Vicente y Santa Lucía, continuando hacia el oeste. Al encontrarse con la corriente de Yucatán, el sargazo fluye directamente hacia el Golfo de México atravesando el canal de Yucatán e integrándose a la corriente de Lazo. La Corriente de Lazo posee un flujo de corriente variable, la cual puede conducir al sargazo directamente con la corriente de Florida o incluso extenderse más al norte, donde puede formar un gran remolino cálido con dirección al oeste. (Guzmán Ramírez, 2019) (**Figura 1**)

Luego de un análisis realizado en el 2013, se detectó una nueva área de origen de *Sargassum* no registrada anteriormente originada en el 2011. El evento habría ocurrido al norte de la desembocadura del Río Amazonas, demostrando en abril una concentración significativa del alga. Para el mes de julio el sargazo se había extendido en una gran parte del Atlántico tropical hacia el este en la región de África, y al resto de las Antillas y el Mar Caribe en el oeste (Gower et al. 2013).

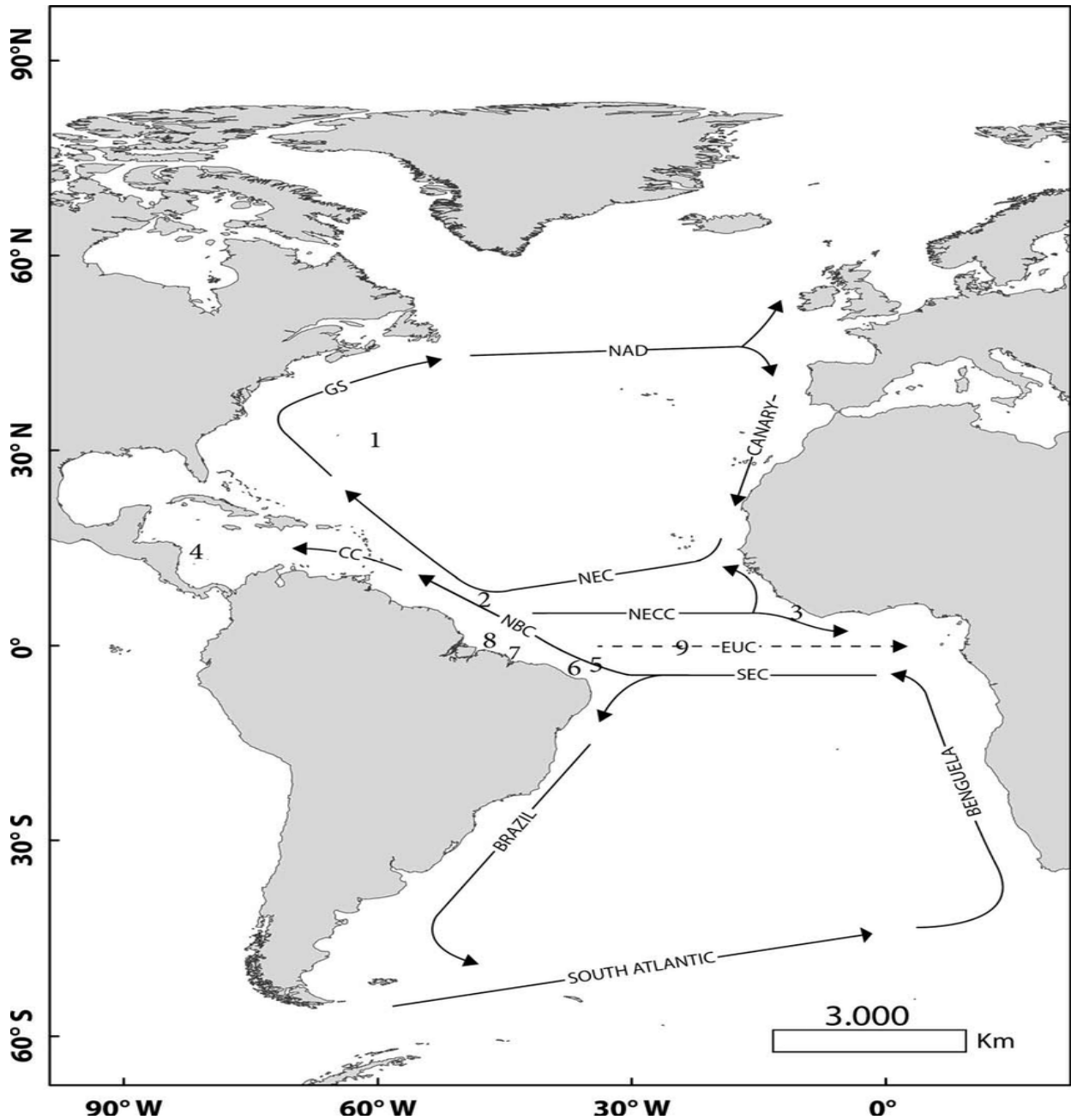


Figura 1. Mapa del Océano Atlántico y principales corrientes oceánicas.

Los números representan la aparición cronológica del sargazo flotante. 1. Mar de los Sargazos (Gower & King 2011); 2. Costa afuera de la costa norte de Brasil (Széchy et al. 2012); 3. Sierra Leona a Ghana (Johnson et al. 2013); 4. San Andrés (Gavio et al. 2015); 5. Archipiélago Fernando de Noronha, 6. Atolón Rocas, 7. Maranhão, 8. Pará, 9. Archipiélago Saõ Pedro e Saõ Paulo (Sissini et al., 2017). CC, Corriente del Caribe; EUC, Corriente Subterránea Ecuatorial; GS, Corriente del

Golfo; NAD, Deriva del Atlántico Norte; NBC, Norte de Brasil Corriente; NEC, Corriente Ecuatorial Norte; NECC, Contracorriente Ecuatorial Norte; SEC, Corriente Ecuatorial Sur.

Según datos de la NOAA Coast Watch (2023) en 2011 el rango geográfico se expandió y cantidades masivas de sargazo se desplazaron hacia el Mar Caribe y el Atlántico sur tropical, llegando en mayor cantidad a las costas de Florida, Puerto Rico, las Islas Vírgenes de los Estados Unidos y la mayoría de las islas y áreas costeras del Mar Caribe.

Desde entonces, estos eventos han incrementado cada año siendo México e islas del caribe como Cuba, República Dominicana o Puerto Rico de las regiones más golpeadas principalmente por el incremento en la cantidad de sargazo que llegan a sus costas según Putman et al. (2018). En las últimas décadas, millones de toneladas de sargazo se han aglomerado en las playas del Caribe y África Occidental, aumentando año tras año y provocando problemas tanto socioeconómicos como ambientales que van desde la afectación del turismo al hacer menos vistosas las playas y con esto la reducción de inversiones, hasta la disminución de la biodiversidad, la mortandad de muchas especies marinas debido a causas como anoxia o contaminación del alga por su excesiva cantidad y la degradación de los ecosistemas asociados como arrecifes. (López et al., 2008).

A nivel global existen investigaciones relacionadas con la llegada del sargazo a las costas a partir del 2011 como el de Torres-Conde y Martínez Daranas (2020) en el que estudiaron la relación en la forma de la playa con respecto a factores ambientales, donde determinaron que en las playas con forma lineal había mayor biomasa seca que en aquellas playas con forma de herradura. Franks et al. (2016) realizaron un seguimiento de los movimientos pelágicos del sargazo desde los sitios de varamiento en el Atlántico, estudiando regiones del caribe oriental, Brasil y África mediante el uso de boyas para monitorear el sargazo entre las conexiones de transporte entre el Mar de los Sargazos y el Norte Atlántico.

Putman et al. (2018) presentaron los resultados de experimentos de seguimiento de partículas sintéticas que caracterizaban la dinámica interanual y estacional de las corrientes oceánicas y los vientos que influyen en el transporte de Sargazo desde el Atlántico Ecuatorial hasta el Mar Caribe.

Trabajo útil para predecir los varamientos de sargazo a lo largo de las islas del Caribe mucho antes de que ocurran.

López et al. (2023) estudia las posibles causas de la proliferación del sargazo y da algunas teorías en cuanto al movimiento del alga en las corrientes, también busca advertir del posible impacto socioeconómico, público y ambiental que podemos tener gracias a los arribazones.

En Panamá no existe monitoreo constante ni satélites y mucho menos un control con respecto a la cantidad de alga que llega a nuestras costas, sin embargo, se conoce del problema. Es por lo que este trabajo tiene como fin demostrar la presencia del sargazo, con la intención de crear un monitoreo inicial del cual apoyarse y en un futuro comparar para determinar si hemos tenido un aumento o una disminución en cuanto al arribazón del sargazo en nuestra costa.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis para Mann-Whitney

H0: la mediana de la biomasa de sargazo en la playa Nombre de Dios es igual a la mediana de la biomasa de sargazo en la playa La Angosta.

H1: la mediana de la biomasa de sargazo en la playa Nombre de Dios es diferente de la mediana de la biomasa de sargazo en la playa La Angosta.

1.3.2 Hipótesis para Correlación de Pearson

H0: el coeficiente de correlación entre la biomasa de sargazo y la altura de la marea en la playa Nombre de Dios es igual a cero ($\rho = 0$).

H1: el coeficiente de correlación entre la biomasa de sargazo y la altura de la marea en la playa Nombre de Dios es diferente de cero ($\rho \neq 0$).

1.4 Objetivo general

- Evaluar la variabilidad estacional de la irrupción del sargazo en las playas a estudiar, analizando patrones de aparición y concentración, con el objetivo de determinar si existe una tendencia estacional en la llegada de sargazo a la región.

1.5 Objetivos específicos

- Contabilizar las cantidades de sargazo que arriban en las costas de playa La Angosta y playa Nombre de Dios.
- Determinar el área de mayor frecuencia de arribazón de sargazo entre las playas: La Angosta y Nombre de Dios.
- Estimar la cantidad poblacional e identificar las principales especies de algas pardas presentes en los arribazones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en dos playas arenosas de la provincia de Colón en la República de Panamá. Una de ellas pertenece al distrito de Portobelo y la otra, al distrito de Santa Isabel, ambas localizadas en la costa norte del istmo de Panamá a unos 50 km al noreste de la Ciudad de Colón. En las playas a destacar encontramos, María Chiquita, La Angosta, Viento Frío, Nombre de Dios y Palenque. El tipo de clima que predomina en esta zona es el tropical húmedo de selvas, estando los meses de mayo a diciembre en la estación lluviosa (Rubio, 1955), esto se debe a la posición que toma la república de Panamá dentro de la zona intertropical.

El área de estudio comprendió a playas que regularmente reciben arribazón de sargazo durante el año y para esto se realizó la primera gira el 3 de marzo del 2023, en la cual recorrimos gran parte de la costa norte de Colón. El propósito de esta gira fue recolectar información con base a las playas que presentaban la mayor cantidad de las poblaciones de sargazo en sus costas y a la vez, consultamos con las diferentes comunidades para recolectar información sobre las épocas del año en la que más se visualizaban los arribazones del sargazo.

Con los datos obtenidos, decidimos seleccionar playa La Angosta, (**Figura 2**) del distrito de Portobelo, coordenadas: 9°28'06'' N; 79°43'34'' W, y playa Nombre de Dios, (**Figura 3**) del distrito de Santa Isabel, coordenadas: 9°34'57'' N; 79°28'25'' W, para realizar el muestreo del proyecto.

Playa La Angosta es una de las playas más cercana a la ciudad Colón. Una parte de ella posee la arena de color blanca mientras que la otra parte posee arena de color negra. Las aguas son generalmente tranquilas y seguras. La playa es bastante larga y ancha. La playa es administrada por una empresa privada, cual tiene una concesión administrativa desde 1996 para 20 años. Esta empresa mantiene las instalaciones de la playa y también se encarga de la limpieza.

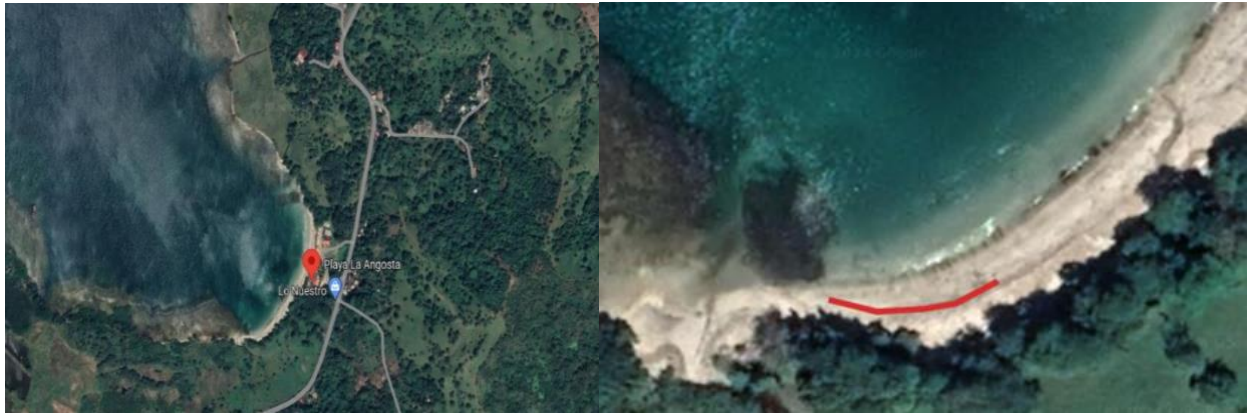


Figura 2. Vista panorámica de la zona de muestreo en la playa La Angosta.

Playa Nombre de Dios se encuentra en un pueblo tranquilo y pequeño, aproximadamente a 3 horas y media desde la ciudad de Panamá. Se extiende a lo largo de 1.5 kilómetros de arena. En su extremo occidental está la embocadura del río Nombre de Dios y en el extremo oriental encontramos diferentes comunidades de manglares y más adelante encontramos la playa de Damas.

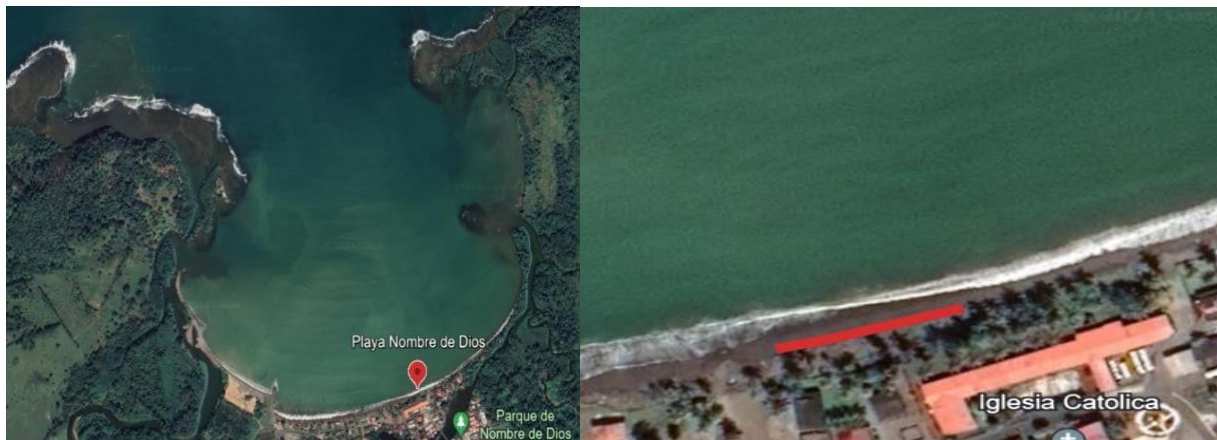


Figura 3. Vista panorámica de la zona de muestreo en playa Nombre de Dios

2.2 Fase de campo

Posterior a la selección de las playas, se estableció el calendario de giras para el muestreo del Sargazo, se viajó una (1) vez al mes, durante 8 meses, para coleccionar muestras. El muestreo se

realizó desde mayo 2023 hasta diciembre 2023, exceptuando el mes de octubre del 2023, el cual no presenta registro de muestreo, ya que no se pudo realizar la gira de esta fecha, por razones de disturbios y protestas por parte de la población panameña a nivel nacional.

Para la selección de las fechas de muestreos, se optó por fechas al azar que tuvieran un mínimo de 3 semanas establecidas entre ellas (**Cuadro 1**). De esta forma, le dábamos tiempo a los arribazones del sargazo de asentarse en las costas, en caso de que, en el muestreo anterior, no se hubiera reportado presencia de sargazo en la costa.

Cuadro 1. Cronograma de Investigación: fechas y horarios registrados

Fecha	Playa	Hora de entrada	Hora de salida
25 de mayo de 2023	La Angosta	12:25 p.m.	13:15 p.m.
	Nombre de Dios	9:12 a.m.	11:05 a.m.
20 de junio de 2023	La Angosta	11:30 a.m.	12:15 p.m.
	Nombre de Dios	9:20 a.m.	10:15 a.m.
1 de julio de 2023	La Angosta	08:20 a.m.	08:40 a.m.
	Nombre de Dios	09:45 a.m.	10:30 a.m.
26 de agosto de 2023	La Angosta	07:15 a.m.	07:30 a.m.
	Nombre de Dios	08:05 a.m.	08:30 a.m.
23 de septiembre de 2023	La Angosta	07:30 a.m.	07:50 a.m.
	Nombre de Dios	08:45 a.m.	09:00 a.m.
No hay registros en octubre			
25 de noviembre de 2023	La Angosta	08:00 a.m.	08:20 a.m.
	Nombre de Dios	09:10 a.m.	09:30 a.m.
27 de diciembre de 2023	La Angosta	07:15 a.m.	08:00 a.m.
	Nombre de Dios	09:05 a.m.	10:00 a.m.

Se tomó información de los diferentes factores físicos como la temperatura, el clima, la precipitación, estructura de la playa, entre otros a la hora de muestrear en ambas playas.

Para la contabilización de la densidad poblacional de los sargazos que se encontraron a orillas de la playa, se midió un metro cuadrado por zona y se procedió a pesar las poblaciones de sargazo que se encontraron dentro del metro cuadrado establecido. El tipo de muestreo que se empleó para contabilizar las comunidades será por cuadrantes (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

Se muestreó en la zona meso litoral de la playa en una línea recta de aproximadamente 40 metros, de los cuales se contabilizaron las poblaciones del sargazo por cada metro, dejando un espacio de un metro entre cada cuadrante, obteniendo al final un total de 20 cuadrantes contabilizados. El muestreo se repitió hasta que todas las poblaciones de sargazo que se encontraban dentro del transecto establecido en la orilla de playa fueran contabilizadas.

Los cuadrantes que se utilizaron para los muestreos estaban hechos de tubos de PVC de un (1) metro de ancho por un (1) metro de largo, (Rogers et al., 2001).

Por playa se colectó una serie de muestras representativas, para esto se tomó en consideración el tipo de sustrato en el que se encontraba la muestra, algunas fueron identificadas in situ, otras fueron recolectadas y transportadas al laboratorio.

Para su debido transporte, utilizamos bolsas de plástico herméticas, en ésta colocamos alcohol al 90 % con agua de mar, luego estas muestras colectadas se procedieron a secar e identificar taxonómicamente utilizando Littler et al. (1989) y Littler & Littler (2000) para ser llevadas hasta el nivel de especie.

2.3 Fase de laboratorio

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron pasadas por el estereoscopio para poder identificar las partes principales del sargazo, destacando los aerocistos y el estípite en busca de espinas para identificar mejor la especie. Una vez observadas las muestras, se pasaban a un bote de alcohol al 90% para preservar la muestra lista para la fase de secado.

Para el secado de las muestras, utilizamos el método de muestras secas, para esto utilizamos diferentes materiales, entre ellos: pinzas, reglas, goteros, papel cartoncillo, cartón y una prensa botánica.

Colocamos el alga en el papel cartoncillo y luego de esto, con un gotero, agregamos un par de gotas de agua a la muestra y con agujas y pinzas extendimos el alga. Posteriormente, con el mismo gotero, procedimos a succionar el exceso de agua que había quedado en la muestra. Para el montaje de la muestra, colocamos papel encerado sobre la muestra en el cartoncillo, esto es para que la misma no se adhiera al papel periódico que fue colocado encima del mismo. También se colocó un papel periódico por debajo del cartoncillo. Por último, se colocó un cartón en la parte superior y otro en la parte inferior y se colocó todo en el mismo orden en la prensa herbaria. Este proceso se realizó con cada muestra que se deseó secar. (Fernández & Wysor, 2020)

Para la etiqueta de cada espécimen, se colocó el nombre de la especie con el del autor o autora, la localidad de colecta, el hábito del alga, el nombre de quien la colectó, el nombre de quien identificó la especie, la fecha de colecta, el nombre del herbario, número del herbario y qué tipo de preservación se utilizó. (Fernández & Wysor, 2020).

2.4 Cálculo para el efecto de las mareas

Para realizar el cálculo de la marea en un momento específico, tomamos en cuenta varias variables para poder usar la fórmula de corrección aditiva. Para las variables calculamos la duración llenante (A), la diferencia entre horas (B), la amplitud de marea (C), aplicamos la fórmula de corrección (Corr) y posteriormente se restaba el resultado de la corrección con la plea más cercana.

Explicación de las variables:

Paso 1. Calcular La Duración Llenante.

(A) Duración llenante = Hora de la pleamar – Hora de la bajamar

La hora de la pleamar: es la hora exacta en la que en la tabla de mareas se muestra la marea alta ubicada entre la hora que nosotros queremos saber.

La hora de la bajamar: es la hora exacta en la que en la tabla de mareas se muestra la marea baja ubicada entre la hora que nosotros queremos saber.

Paso 2. Calcular la diferencia entre horas

(B) Diferencia entre horas = Hora cercana – Hora momento

La hora cercana: es la hora en la que la plea está más cercana a nuestra hora que queremos saber.

La hora momento: es la hora exacta en que queremos saber cuál es la altura de la marea en ese momento.

Paso 3. Calcular la Amplitud de Marea

(C) Amplitud de Marea = Altura de la pleamar – Altura de la bajamar

La Altura de la pleamar: es la altura exacta donde es la marea alta establecida en las tablas de mareas ubicada entre la hora que nosotros queremos saber

Altura de la bajamar: es la altura exacta donde es la marea baja establecida en las tablas de mareas ubicada entre la hora que nosotros queremos saber.

Paso 4. Realizar la fórmula de la corrección

$$\text{Corr} = \frac{C}{2} (1 - \cos x(180x(\frac{B}{A}))$$

Para la corrección reemplazamos los datos con los resultados que ya obtuvimos en la Duración Llenante (A), La Diferencia entre horas (B) y La Amplitud de marea (C). Sería así la conversión:

$$\text{Corr} = \frac{\text{Amplitud de marea}}{2} (1 - \cos x(180x(\frac{\text{Diferencia entre horas}}{\text{Duración llenante}}))$$

Paso 5. Aplicamos la corrección

Altura de la plea más cercana - corrección

En el último plazo simplemente restamos la altura de la plea más cercana a nuestra hora momento con el resultado que obtuvimos gracias a la fórmula de la corrección de mareas.

Este cálculo de las mareas en la hora momento se realizó para obtener la marea exacta de la hora a la que llegábamos a la playa y la hora en la que salíamos de la misma tomando en cuenta la tabla de mareas del día que correspondía muestrear. Luego se realizó un promedio entre cada playa para así tener un valor realista correspondiente al tiempo que duramos muestreando y pesando las muestras en la playa.

2.5 Pruebas estadísticas

Para los datos estadísticos se usaron los valores promedios obtenidos por playa para conocer la cantidad de sargazo y como varía a lo largo del tiempo y así comparar las tendencias mensuales entre las dos playas.

Se realizaron análisis de la biomasa promedio del sargazo y también se realizaron análisis de tendencia para comprender si existían variaciones en la llegada del sargazo a las playas y saber la media de estas.

2.5.1 Prueba de Shapiro-Wilk

Realizamos una prueba de Shapiro-Wilk para determinar si nuestro conjunto de datos proviene de una distribución normal y con esto determinar si utilizábamos pruebas paramétricas o no paramétricas.

2.5.2 Prueba de Mann-Whitney

Realizamos la prueba de Mann-Whitney ya que nuestros datos no seguían una distribución normal, con lo que la idea de realizar esta prueba fue para comparar dos medias muestrales que provienen de la misma población, en este caso la cantidad de sargazo que llega a ambas playas, así como para probar si dos medias muestrales son iguales o no.

2.5.3 Prueba de Correlación de Pearson

Para probar la hipótesis, recopilamos datos sobre las cantidades de sargazo encontradas en dos playas diferentes (playa Nombre de Dios y playa La Angosta) y las alturas de marea en esas playas durante varios meses. Calculamos el peso promedio del sargazo encontrado en cada playa por mes y las alturas de marea promedio por mes para cada playa.

Luego, realizamos pruebas de correlación de Pearson entre las cantidades de sargazo y las alturas de marea para cada playa. Utilizamos un nivel de significancia del 0.05 para todas las pruebas estadísticas.

III. RESULTADOS

Durante el tiempo de investigación, la playa con mayor presencia de sargazo fue Nombre de Dios, que con mucha diferencia llegaba tener mayor cantidad del alga en la costa a diferencia de playa La Angosta que siempre mantuvo una menor frecuencia en cuanto a la densidad del sargazo que arribaba a la playa, sin embargo, solía ser más constante la cantidad que encontrábamos en la costa.

Para la playa Nombre de Dios los datos encontrados fueron disminuyendo con el pasar de los meses, siendo mayo el mes en el que mayor sargazo se pesó y a partir de mayo la cantidad de sargazo fue menor con cada mes y en orden decreciente, siendo agosto el primer mes donde no encontramos sargazo en la playa. Durante los siguientes meses, la cantidad encontrada del alga en las playas continuó siendo 0 hasta el mes de noviembre. El mes de diciembre fue el último mes y los pesos encontrados fueron muy similares a los del mes de junio (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Libras de sargazo por cuadrante pesado por mes en playa Nombre de Dios

Cuadrante	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Noviembre	Diciembre
C1	14.2 lb	2.1 lb	0.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	2 lb
C2	16.3 lb	3.1 lb	0.3 lb	0 lb	0 lb	0 lb	2.1 lb
C3	9.5 lb	4.5 lb	1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.5 lb
C4	12.6 lb	5.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.8 lb
C5	6.5 lb	2.3 lb	1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	3.5 lb
C6	4.7 lb	4.1 lb	0.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	4.5 lb
C7	21.8 lb	5.6 lb	1.3 lb	0 lb	0 lb	0 lb	4 lb
C8	30.4 lb	2.8 lb	0.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.2 lb
C9	39.6 lb	2.1 lb	1.9 lb	0 lb	0 lb	0 lb	2.6 lb
C10	34.5 lb	3.2 lb	0.6 lb	0 lb	0 lb	0 lb	4.9 lb
C11	24.6 lb	4.6 lb	0.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	4 lb
C12	29.8 lb	3.7 lb	0.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	3.5 lb
C13	16.3 lb	1.3 lb	0.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	3.7 lb
C14	7.5 lb	3.1 lb	1.5 lb	0 lb	0 lb	0 lb	2.5 lb
C15	2.9 lb	2.5 lb	2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	3.2 lb
C16	1.4 lb	1.1 lb	0.5 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.9 lb
C17	2.6 lb	2.4 lb	0.6 lb	0 lb	0 lb	0 lb	5.2 lb
C18	1.6 lb	3.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	3.7 lb
C19	3.5 lb	0 lb	1.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	2.7 lb
C20	2.7 lb	0 lb	0.6 lb	0 lb	0 lb	0 lb	5.6 lb

En playa La Angosta la cantidad encontrada de sargazo en la costa fue mucho menor a comparación con Nombre de Dios. Sin embargo, al igual que en playa Nombre de Dios, la cantidad del alga que arribaba era mucho menor con el pasar de los meses. Mayo fue el mes que tuvo un mayor volumen en la playa y con los siguientes meses la masa que llegaba a la costa era mucho menor siendo junio y diciembre los únicos meses junto con mayo en los que llegó el alga a la costa. Tanto julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre fueron meses en los que el sargazo no llegó a la playa, siendo 0 la cantidad pesada durante esos meses. (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Libras de sargazo por cuadrante pesado por mes en playa La Angosta

Cuadrante	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Noviembre	Diciembre
C1	4.2 lb	2.3 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.5 lb
C2	3.1 lb	3.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.9 lb
C3	5.2 lb	1.3 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.2 lb
C4	4.2 lb	2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.6 lb
C5	4.2 lb	1.5 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.5 lb
C6	3.9 lb	1.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.7 lb
C7	6.1 lb	2.4 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.8 lb
C8	2.5 lb	1.5 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	2.1 lb
C9	3.9 lb	0.4 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.4 lb
C10	2.4 lb	0.7 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.6 lb
C11	3.1 lb	1.3 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.7 lb
C12	3.6 lb	1.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.2 lb
C13	4.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb
C14	4.5 lb	1.1 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.2 lb
C15	3.8 lb	2.6 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.9 lb
C16	2.1 lb	1.3 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	2 lb
C17	1.2 lb	1.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	1.4 lb
C18	1.6 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.6 lb
C19	8.1 lb	0.2 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.8 lb
C20	5.4 lb	0.5 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0 lb	0.3 lb

El mes de mayo fue el que mayor media tuvo para ambas playas, además de apreciar una ausencia total de sargazo para los meses de agosto a noviembre.

En playa Nombre de Dios el promedio de mayo a junio disminuyó de 14.15 lb a 2.84 lb respectivamente, lo que representa una disminución de un 80.4%. En julio se obtuvo un promedio de 0.67 lb en playa Nombre de Dios mientras que en playa La Angosta no se encontró el alga. En

diciembre el alga aumentó más de un 400% (3.21 lb) en playa Nombre de Dios en comparación con los últimos datos obtenidos en julio (0.67 lb).

En playa La Angosta la cantidad encontrada de sargazo fue mucho menor que la encontrada en la otra playa. Para el mes de mayo se obtuvo un promedio de 3.86 lb y en junio 1.28 lb lo que representa una disminución del 66.4 %. En el mes de diciembre la cantidad encontrada fue de 1.07 lb, una menor cantidad promedio a la encontrada en junio disminuyendo aproximadamente 16.41%. (**Cuadro 4**).

Cuadro 4. Promedio de libras de sargazo encontrado en las playas Nombre de Dios y La Angosta.

Mes	Playa Nombre de Dios	Playa La Angosta
Mayo	14.15 lb	3.86 lb
Junio	2.84 lb	1.28 lb
Julio	0.67 lb	0 lb
Agosto	0 lb	0 lb
Septiembre	0 lb	0 lb
Noviembre	0 lb	0 lb
Diciembre	3.21lb	1.07 lb

3.1 Efecto de las mareas

En cuanto al sargazo encontrado en la playa, siempre estaba en la zona intermareal de la playa lo cual facilitaba su pesaje cuando la marea se encontraba baja, pero si subía más de 0.30 metros se dificultaba la recolección del alga debido a la forma de la playa.

Según las fórmulas aplicadas para medir una marea a cualquier hora destacan fechas como el 20 de junio y el 1 de julio donde la marea fue negativa para ambas playas. De forma contraria,

podemos señalar meses como noviembre y diciembre donde se aprecia en el **Cuadro 5** que éstas estuvieron en sus puntos más altos registrados según los días que se realizaron los muestreos.

Cuadro 5. Altura de la marea según la hora de llegada y salida para playa Nombre de Dios y playa La Angosta.

Fecha	Playa	Hora de llegada	Altura de la marea al llegar (m)	Hora de Salida	Altura de la marea al salir (m)
25 de mayo	Nombre de Dios	09:12 a.m.	0.17	11:15 a.m.	0.1
	La Angosta	12:15 p.m.	0.09	1:15 p.m.	0.09
20 de junio	Nombre de Dios	09:20 a.m.	-0.1	10:15 a.m.	-0.11
	La Angosta	11:30 a.m.	-0.12	12:15 p.m.	-0.13
1 de julio	La Angosta	08:20 a.m.	-0.05	08:40 a.m.	-0.05
	Nombre de Dios	09:45 a.m.	-0.04	10:30 a.m.	-0.03
26 de agosto	La Angosta	07:15 a.m.	0.05	07:30 a.m.	0.05
	Nombre de Dios	08:05 a.m.	0.05	08:30 a.m.	0.06
23 de septiembre	La Angosta	07:30 a.m.	0.09	07:50 a.m.	0.08
	Nombre de Dios	08:45 a.m.	0.07	09:00 a.m.	0.06
25 de noviembre	La Angosta	08:00 a.m.	0.33	08:20 a.m.	0.35
	Nombre de Dios	09:10 a.m.	0.4	09:30 a.m.	0.41
27 de diciembre	La Angosta	07:15 a.m.	0.31	08:00 a.m.	0.34
	Nombre de Dios	09:05 a.m.	0.38	10:00 a.m.	0.4

Obtuvimos los datos promedios de la marea según el tiempo que estuvimos en cada playa donde en el **Cuadro 6** destaca el mes de noviembre que cual tuvo un mayor promedio de marea al momento de muestrear siendo 0.41 m para la playa Nombre de Dios y 0.34 m para la playa La Angosta. Para el promedio más bajo monitoreado se destaca el mes de julio con -0.03 m para playa Nombre de Dios y -0.05 para playa La Angosta.

Cuadro 6. Promedio de la marea en metros para playa Nombre de Dios vs playa La Angosta.

Mes	Playa Nombre de Dios	Playa La Angosta
Mayo	0.14	0.09

Junio	-0.1	-0.12
Julio	-0.03	-0.05
Agosto	0.06	0.05
Septiembre	0.09	0.06
Noviembre	0.41	0.34
Diciembre	0.39	0.32

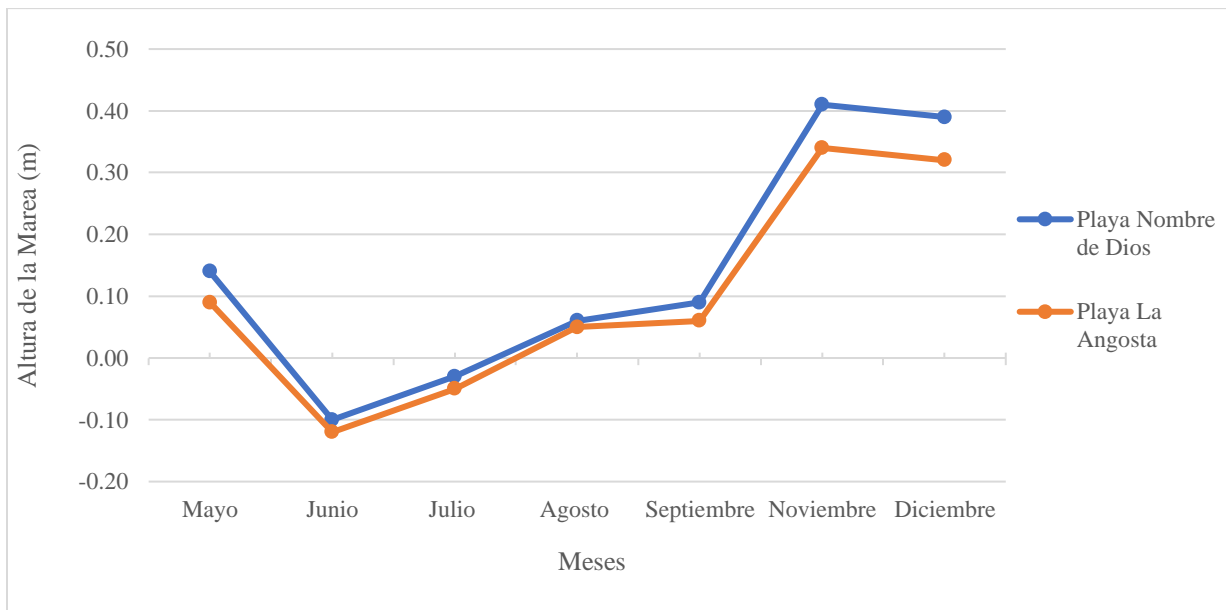


Figura 4. Promedio de la marea en metro para playa Nombre de Dios y playa La Angosta

Dado los resultados obtenidos, en playa La Angosta se observa en la **Figura 4** como la marea fue negativa en junio y julio, algo muy normal en el caribe. Ambas playas mantienen datos parecidos gracias a que entre cada lugar de muestreo hay aproximadamente una hora, sin embargo, la marea es una variable importante y depende de la hora para ser mayor o menor.

3.2 Análisis estadístico

3.2.1 Análisis de la Biomasa

Durante el tiempo de colecta, los meses que mayor cantidad de biomasa promedio pesada presentaron fueron mayo, diciembre, junio y julio en orden de mayor a menor cantidad medida. En los meses de agosto hasta noviembre no se encontró el alga.

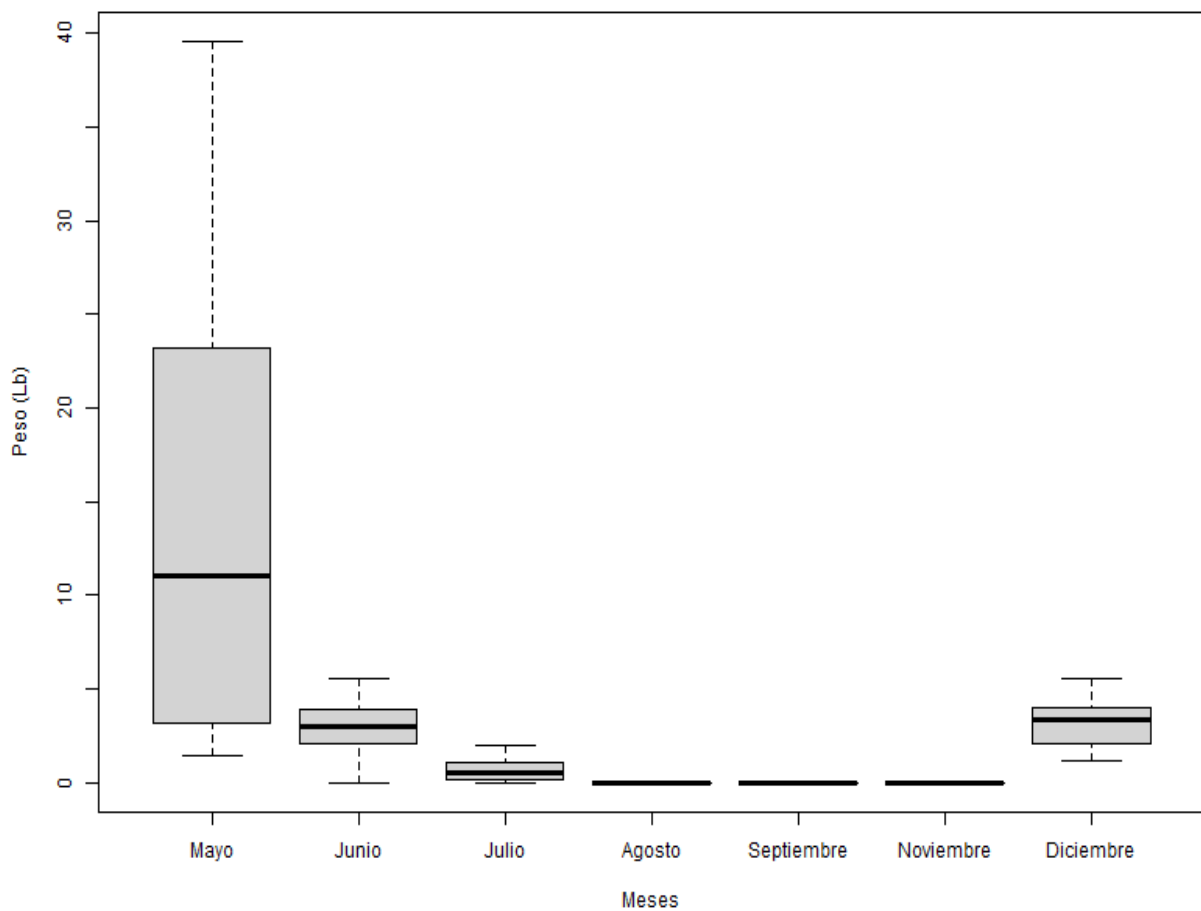


Figura 5. Rangos de distribución del peso de la biomasa pesada de sargazo a lo largo de los meses de colecta en playa Nombre de Dios.

En la **Figura 5** se observa como el sargazo registró valores desde 3 a 23 lb en mes de mayo; en el mes de junio valores entre 2 y 3 lb; en el mes de julio se mantuvieron los datos entre 0.5 y 2 lb; y

en el mes de diciembre hubo un incremento en el que se pesaron y obtuvieron pesos entre las 2 y 4 lb.

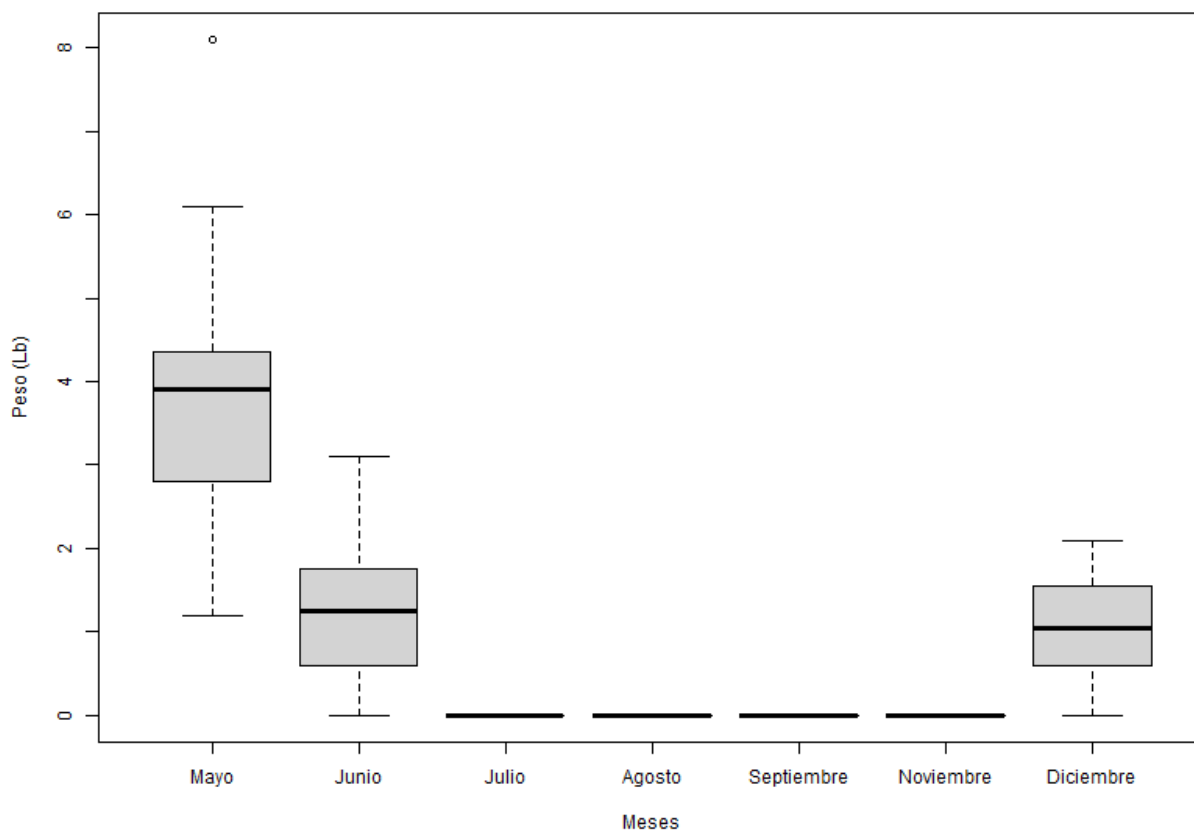


Figura 6. Rangos de distribución del peso de la biomasa pesada de sargazo a lo largo de los meses de colecta en playa La Angosta.

En la **Figura 6** se observa como el pesaje del sargazo registró valores promedios de 2.7 a 4.3 lb en mes de mayo; en el mes de junio valores entre 0.5 y 1.5 lb; y en el mes de diciembre hubo un incremento de sargazo en la playa y se obtuvieron pesos entre las 0.6 y 1.6 lb.

3.2.2 Análisis de tendencia

Estas observaciones sugieren diferencias significativas entre las dos playas en términos de la cantidad pesada de sargazo en donde generalmente para playa Nombre de Dios mostró valores más altos que playa La Angosta en los meses en que se tomaron medidas. Mayo se presenta como el mes con mayor cantidad del alga medida y diciembre se sitúa como un mes decisivo al mostrar nuevamente datos luego de 4 meses sin avistamiento del alga en la costa. Para la realización del análisis se usaron los datos promedios de sargazo pesado por mes según el **Cuadro 4**.

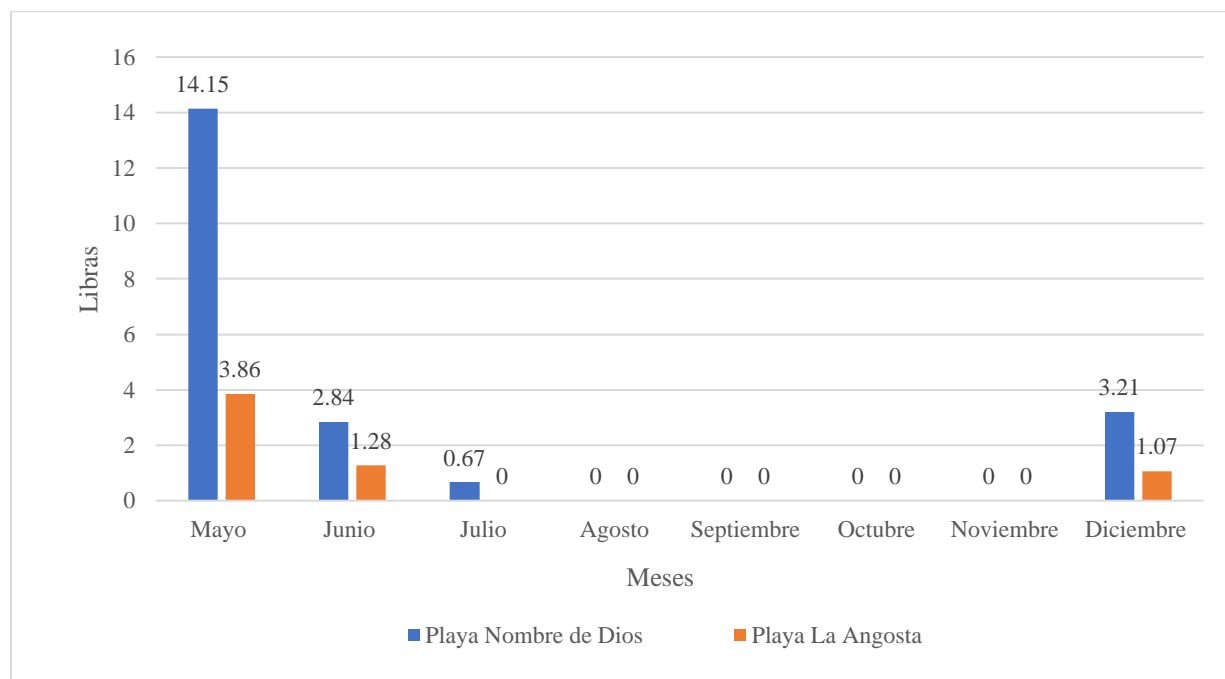


Figura 7. Análisis de tendencia para cada playa con respecto a la biomasa promedio pesada por mes

Según el análisis de tendencia, para la playa Nombre de Dios obtuvimos los mayores volúmenes de biomasa promedio pesada en el mes de mayo (14.15 lb), seguido por diciembre (3.21 lb), luego junio (2.84 lb) y julio (0.67 lb). En playa La Angosta el mes con mayor volumen promedio pesado fue en mayo (3.86 lb), junio (1.28 lb) y diciembre (1.07 lb) respectivamente. (**Figura 7**).

3.2.3 Prueba de Shapiro-Wilk

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk para los datos de la cantidad de sargazo en playa Nombre de Dios mostraron un estadístico de prueba W de 0.6622 y un valor p de 0.001413. Se rechaza la hipótesis nula ya que el valor de p es menor que 0.05 y se concluye que los datos no siguen una distribución normal en la playa Nombre de Dios.

Para playa La Angosta los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk mostraron un estadístico de prueba W de 0.71198 y un valor p de 0.005003. Al igual que en el caso de playa Nombre de Dios, el valor p es menor que 0.05, lo que indica que los datos de la cantidad de sargazo en la playa La Angosta tampoco siguen una distribución normal.

3.2.4 Prueba de Mann-Whitney

Los resultados de la prueba de Mann-Whitney para comparar las cantidades de sargazo entre las playas Nombre de Dios y La Angosta mostraron un estadístico de prueba W de 29 y un valor p de 0.5852. Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que no hay una diferencia significativa entre las medianas de las cantidades de sargazo entre las dos playas. Por lo tanto, no se encontró una diferencia significativa en la cantidad de sargazo entre las playas Nombre de Dios y La Angosta durante el período de estudio.

3.2.5 Prueba de Correlación de Pearson

Los resultados de las pruebas de correlación de Pearson son los siguientes:

1). Para la playa Nombre de Dios:

- Coeficiente de correlación de Pearson (r) = 0.0111
- Valor p = 0.9812

2). Para la playa La Angosta:

- Coeficiente de correlación de Pearson (r) = -0.0511
- Valor p = 0.9133

El valor p indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que la correlación es igual a cero. No hay una correlación significativa entre las cantidades de sargazo y las alturas de marea tanto para playa Nombre de Dios como para playa La Angosta.

IV. DISCUSIÓN

El sargazo se clasifica como una macroalga perteneciente al reino Protista lo que significa que no posee características clave de las plantas como raíces y sistema vascular. Por lo tanto, no utiliza nutrientes fotosintetizados como las plantas. En cambio, las células individuales obtienen nutrientes del entorno mediante ósmosis, en lugar de tener un sistema común de distribución de nutrientes en todo el organismo. (Frazier, 2014).

Esta alga tiene la capacidad de propagarse rápidamente e invadir nuevas zonas gracias a unos cuantos rasgos clave que le permiten viajar y prosperar simultáneamente. Se mantiene a flote gracias a los neumatocistos llenos de gases que le mantienen a flote en la superficie, además esta alga tiene una rápida tasa de crecimiento de dos a cuatro centímetros al día y una larga vida útil (Eno et al., 1997).

Desde el 2011, se han reportado grandes acumulaciones de sargazo en el Mar Caribe, el Golfo de México y el Atlántico tropical. (NOAA Coast Watch, 2023). Adicional a esto, en ese mismo año se encontró una nueva zona llamada la Región de Recirculación Ecuatorial del Norte, el “Northern Equatorial Recirculation Region” o NEER por sus siglas en inglés. (Gower et al., 2013). Esta región se da como resultado de condiciones propicias para la inusitada prosperidad del alga, como la presencia del polvo del Sahara, los fertilizantes químicos vertidos al mar por los agroindustriales que desforestan la Amazonia o el agua residual no tratada que los municipios mexicanos de la Riviera maya depositan directamente en los mantos freáticos o incluso en el mar. (Martínez-González, 2019).

Años posteriores, la floración se desarrolló hasta convertirse en una nueva zona de concentración de sargazo en la NERR, desde la costa oriental de África hasta Brasil, a través del Caribe, y en el Golfo de México, esta ha sido bautizada por Wang et al. (2019) como el Gran Cinturón de Sargazo del Atlántico.

El sargazo no es nuevo en el Atlántico tropical sur, pero su proliferación tan inusual es un fenómeno reciente. Se sugiere que esta situación podría haber sido causada por una combinación de varios eventos, todos relacionados con la influencia humana en los ciclos biogeoquímicos del alga. Se ha vinculado a cambios climáticos asociados con la temperatura superficial del mar y a

una anomalía en la Oscilación del Atlántico Norte durante 2009-2010, los cuales podrían haber introducido grandes "poblaciones de semillas" de sargazo en el lado africano de la NERR. (Rivera-Arriaga et al., 2020).

En el 2009, el Dr. Thomas Linton y el estudiante de doctorado Robert Webster desarrollaron el Sistema de Asesoramiento Temprano sobre el Sargazo (SEAS). Este programa tenía como objetivo predecir los eventos de sargazo en la costa de Texas mediante el uso de tecnología de teledetección. SEAS monitorizaba y analizaba las aguas costeras de Texas utilizando imágenes de satélite para detectar la presencia de sargazo. Estas técnicas permitieron al programa SEAS pronosticar eficazmente la temporada de Sargassum 2011 y enviar 5 avisos prediciendo la llegada a tierra de las esteras de Sargassum con una tasa de éxito del 84%. Para el 2012 la tasa de efectividad era de un 97% (Frazier, 2014).

Gracias al monitoreo anual del sargazo, se revelaron varios patrones que se producen estacionalmente y de manera anual con lo que se podría realizar una indicación más temprana de la migración del alga, permitiendo una predicción más avanzada de la inminente temporada del sargazo.

Según lo observado por Frazier (2014), la migración meridional del sargazo inicia en diciembre, pero típicamente ocurre entre febrero y abril, impulsada por vientos estacionales del norte hacia el Caribe. Luego, llega a las islas del norte del Caribe como Cuba, Haití, República Dominicana y Puerto Rico, donde se libera del giro del Atlántico Norte. En estas aguas neríticas del Caribe, ricas en nutrientes como carbono y fósforo, el sargazo encuentra condiciones óptimas para su crecimiento, aumentando su tamaño. Posteriormente migra hacia el sur en la Región de Recirculación Ecuatorial del Norte donde alimenta las aguas de Brasil, Venezuela y Colombia para continuar su paso dirigiéndose poco a poco hacia el golfo de México para completar el ciclo anual.

En general, los recientes episodios de floración muestran conexiones con el enriquecimiento de nutrientes y las variaciones climáticas. Los valores más altos de la Oscilación del Atlántico Norte durante el invierno en los años de floración se correlacionaron bien con las temperaturas superficiales del mar más bajas y el afloramiento más fuerte. (Cropper et al., 2014). El sargazo arriba a las playas tropicales y semitempladas del Atlántico de manera natural pues su presencia es vital para el ecosistema, estos arribazones a la costa dependen de variaciones estacionales originadas por las condiciones atmosféricas y oceanográficas tanto regionales como locales

(Gower y King, 2011). Lo extraño en las playas es la proliferación excesiva del sargazo y las causas de este fenómeno depende de factores biológicos que ocurren naturalmente como resultados de combinaciones climáticas, hidrobiológicas y sobre todo por actividades antropogénicas (Berdalet al., 2011).

El factor de estacionalidad comentado por varios investigadores es la razón por la que en Panamá no hay sargazo los 12 meses del año, llega a la costa, pero en cantidades normales y como se aprecia en el **Cuadro 4** este presentó una disminución a partir del mes de junio, al entrar en la época lluviosa de Panamá donde las lluvias son más constantes y existe una leve disminución en las aguas panameñas. Estos datos coinciden con lo establecido por Parr (1939) que afirma que el sargazo presenta mayores tasas de crecimiento a temperaturas más elevadas (hasta 30°C) y no puede sobrevivir en aguas por debajo de 18°C. y según Gollasch et al., (1999) los episodios de sargazo se producen desde la primavera hasta finales del verano, dependiendo de las temperaturas y las corrientes, pero usualmente la floración de sargazo, detectada mediante satélites, sigue un ciclo estacional y en verano es cuando se nota una mayor biomasa en las playas. (Gower & King, 2019). Lo que coincide con nuestras muestras al destacar que de agosto a noviembre no tuvimos avistamiento del alga en las playas.

Las propagaciones de micro y macroalgas se distinguen principalmente en que las de macroalgas no provocan un daño directo, presentan una variedad de efectos ecológicos más extensa y suelen perdurar durante un período prolongado, ya sea de años o décadas. (Valiela et al., 1997). Los florecimientos de macroalgas están relacionados con un mayor aporte de nutrientes de origen antropogénico. (Valiela et al., 1997; Ye et al., 2011). Un elemento crucial para que se produzcan florecimientos algales es la existencia de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo (Paerl et al., 2008).

El nitrógeno y el fósforo son nutrientes naturales presentes en los ecosistemas acuáticos. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2023) el nitrógeno y el fósforo ayudan al crecimiento de algas y plantas acuáticas, pero el exceso de nitrógeno y fósforo en el agua hace que el alga crezca tan rápido que los ecosistemas no pueden lidiar con esa cantidad.

Lapointe et al. (2021) buscaba ver si ha habido cambios en la composición química del sargazo con el tiempo y cómo podrían relacionarse con el suministro de nitrógeno y fósforo. Estos descubrimientos muestran que los cambios en los niveles de carbono, nitrógeno y fósforo en el

sargazo están estrechamente relacionados con la cantidad de nutrientes que llegan de los ríos Mississippi y Amazonas. Esto sugiere que las aguas que fluyen desde estos ríos ayudan a que el sargazo crezca más en ciertas épocas del año. Durante el invierno hasta la primavera, las descargas de los ríos aumentan y alcanzan su punto máximo al comienzo del verano, lo que puede hacer que el sargazo tenga menos carbono en comparación con el nitrógeno y el fósforo en este período. Sin embargo, en verano y otoño, cuando las descargas de los ríos disminuyen, el sargazo puede tener más carbono en comparación con el nitrógeno y el fósforo, lo que sugiere una falta de nutrientes. Estos resultados indican que la aparición estacional de grandes cantidades de sargazo está influenciada por los nutrientes que llegan de los ríos, especialmente en el golfo de México, donde el sargazo se expande más en primavera y alcanza su punto máximo en verano.

Cabe destacar que la afluencia del sargazo de manera natural no afecta como tal al ecosistema, el problema es que la floración exagerada sobre las playas genera un incremento en los procesos bacteriológicos debido a su descomposición. Como productos de este proceso está la formación de ácido sulfhídrico (H_2S) generando un olor desagradable y asociado con el olor a huevo podrido (Martínez-González, 2019). Por otro lado, según León (2019), el sargazo libera concentraciones de arsénico, así como de metano y dióxido de carbono. Estos últimos gases también son gases de efecto invernadero y, en algunas ocasiones, pueden reaccionar y dar lugar a entornos ácidos.

En un estudio realizado por Rodríguez-Martínez et al., (2016) se abordaron los problemas ecológicos y ambientales causados por la llegada masiva de sargazo a las playas del Caribe Mexicano se determinó que durante los meses de mayor llegada de sargazo a la costa de Quintana Roo, la cantidad de nitrógeno que entra al mar es entre 3.8 y 11.6 veces mayor que la cantidad proveniente de la tierra en todo un año. A pesar de que parte de este nitrógeno será procesado por el ecosistema marino, la cantidad masiva de sargazo puede contribuir significativamente a la eutrofización de ambientes que normalmente tienen pocos nutrientes, lo que puede afectar el equilibrio ecológico introduciendo más nutrientes de los necesarios.

Destacar los problemas ambientales nos demuestra lo destructiva que puede ser el alga si existe una proliferación anormal de la misma, según pobladores y pescadores del área de playa La Angosta y playa Nombre de Dios el sargazo puede llegar a ser tanto que se dificulta salir a pescar, y a pesar de que en el 2023 el sargazo no demostró ser una gran problemática los relatos de los pobladores nos trasladaban al 2022 cuando Panamá sufrió una de las primeras arribazones atípicas

del alga documentada por Mi Ambiente (2022) donde la cantidad de sargazo llegaba hasta las rodillas y el olor que desprendía afectaba a toda la comunidad.

Como bien explica Uribe-Martínez et al, (2020) el sargazo cumple el rol de hábitat oceánico y así como cualquier otro entorno biológico, depende de factores ambientales que pueden fomentar o restringir su existencia. Si las condiciones son propicias y no hay factores que limiten el crecimiento del alga, como falta de nutrientes o temperaturas extremadamente bajas, el sargazo puede crecer sin límites. Dado que no necesita suelo para crecer y solo está limitado por las masas de tierra, además de la falta de consumidores directos, se puede inferir que, bajo condiciones favorables, como aguas ricas en nutrientes y temperaturas adecuadas, su crecimiento puede ser ilimitado, a menos que exista algún problema interno detenga su crecimiento.

La presencia natural del sargazo en la costa provee alimento y nutrientes a los componentes de los ecosistemas costeros, pues este proporciona hábitat y recursos directos a los organismos intermareales, quienes son sustento para aves y otros carroñeros. Posteriormente, el sargazo en descomposición se incorpora a los sedimentos costeros, lo que provee nutrientes para la vegetación de duna y es sabido que esta vegetación promueve la estabilización de las playas (Williams y Feagin, 2010).

Los arribazones de sargassum pelágico se han tornado un fenómeno natural con el paso de los años, incluso según Critchley et al. (1983) afirman que esta alga puede jugar un papel importante en estabilidad del litoral y la productividad de este. Además, bajo condiciones normales, la presencia de esta alga puede ayudar a combatir la erosión de las playas y actuar como abono natural que favorezca el crecimiento de la vegetación debido a la introducción de nutrientes al medio marino (Chávez et al., 2020). De igual manera, la biomasa de sargazo flotante en el mar puede ser de utilidad para determinadas especies, ya que proporciona alimento y refugio (NOAA Coast Watch, 2023; Huffard et al., 2014; Chávez et al., 2020).

Aunque se han realizado estudios sobre el potencial económico, los recursos disponibles e incluso la evaluación de mercados para los recursos de arribazones en otras partes del mundo, en el caso de Panamá se carece de investigaciones pertinentes que aborden la composición taxonómica, las causas y mecanismos, la estacionalidad, la regionalización, el origen de las especies involucradas y sus posibles usos.

El sistema climático de Panamá se distribuye entre una temporada seca que comienza a partir de diciembre hasta abril y una temporada lluviosa que empieza a partir de mayo hasta noviembre aproximadamente (Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá, 2022). Además de estos datos cabe destacar que el año 2023 pasamos de un efecto de la niña que duró 3 años a un efecto del niño y es que como resalta O'Shea (2023) los investigadores del Instituto Goddard de Estudios Especiales de la Nasa destacaron que las altas temperaturas de la superficie del mar contribuyeron al récord de calor de julio. Sin embargo, es importante destacar que se espera ver mayores impactos a partir del mes de febrero, marzo y abril de 2024.

Según Frazier (2014) el efecto exacto que el viento y las corrientes de agua tienen sobre el Sargassum aún se desconoce por lo que no podemos atribuir los fenómenos producidos por el efecto de la niña a la ausencia o presencia del sargazo.

Desde enero del 2018 el Laboratorio de Oceanografía Óptica de la “University of South Florida” estudian, analizan y proporcionan informes detallados sobre la cantidad de sargazo en la Gran Franja del Sargazo del Atlántico (GASB, por sus siglas en inglés) durante varios meses del año gracias al Sistema de vigilancia de sargazo basado en satélite (SaWS) diseñado para utilizar datos satelitales y modelos numéricos para detectar y rastrear sargazos pelágicos casi en tiempo real.

Los datos satelitales brutos son provistos por la NASA y el USGS, estos son procesados a través de un sistema de antena virtual utilizando algoritmos estándar y personalizados. Se destacan dos productos de datos personalizados: el Índice de Algas Flotantes (FAI) para identificar algas y otros materiales en la superficie del océano, y el Índice de Color (CI) para seguir las características de la circulación oceánica.

Gracias a estas observaciones mensuales son capaces de redactar informes que publican cada mes para notificar acerca del sargazo y predecir el mismo para los próximos meses. Según lo observado para mayo de 2023, se observó una disminución del 15% en la cantidad de sargazo en comparación con abril de 2023, siendo esta disminución la más pronunciada registrada para esta época del año desde el inicio del monitoreo en 2011. La disminución se debió principalmente a una marcada reducción en el Atlántico oriental, mientras que en otras regiones como el Atlántico central y el golfo de México se observaron aumentos ligeros. Por otro lado, en junio de 2023, la cantidad de sargazo disminuyó ligeramente en comparación con mayo, con una disminución significativa en el golfo de México y el mar Caribe, contrarrestada por aumentos en el Atlántico central. En julio

de 2023 se registró una disminución sustancial en la cantidad de sargazo en toda la franja del Atlántico, con una reducción particularmente notable en el Atlántico central y el mar Caribe. Esta tendencia de disminución continuó en agosto y septiembre de 2023, con una cantidad cada vez menor de sargazo detectado en el Atlántico central y el mar Caribe. Para octubre, noviembre y diciembre de 2023 se observó una estabilización en la cantidad de sargazo en el Atlántico central, con una ligera disminución en el mar Caribe y el golfo de México. Sin embargo, hacia diciembre se registró un aumento sustancial en la cantidad de sargazo en el Atlántico central, alcanzando un máximo histórico para ese mes.

En resumen, estos informes proporcionan una visión detallada de la dinámica del sargazo en la GASB durante varios meses de 2023, destacando las variaciones regionales y temporales en la cantidad de biomasa de sargazo. Estos datos son fundamentales para comprender mejor el comportamiento del sargazo en el Atlántico y para contrastar con los resultados obtenidos en nuestras playas, ya que lo presentado por el satélite se replicó en Panamá, destacando los meses de junio hasta noviembre donde los informes no reportaron grandes masas de sargazo en el agua, lo que coincide con lo sucedido en nuestros datos, además de la disminución ocurrida entre mayo y junio y el aumento del sargazo en el mes de diciembre lo que se alinea con los datos que tenemos.

4.1 Análisis detallado de la especie dominante encontrada

Se identificó una especie de la clase Phaeophyceae, orden Fucales, familia Sargassaceae.

Las algas de la familia Sargassaceae se diferencian por tener 3 estructuras destacables en este caso rizoides, estípites y lámina. (Hardy et al., 2006).

Durante los meses que logramos encontrar sargazo en la playa siempre encontramos la especie *Sargassum fluitans*, destacando los meses de mayo, junio, julio y diciembre, únicos meses en los que tuvimos arribazón.

4.1.1 *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, 1914

S. fluitans (**Figura 8**) es una especie pelágica que puede alcanzar longitudes de hasta 1 m, aunque usualmente llega a medir entre 20 a 30 cm de largo (Godínez-Ortega et al., 2021). Las hojas son de color marrón dorado, y aunque son numerosas, se extienden ampliamente en las ramas. (Littler et al., 1989).



Figura 8. Ejemplar de *Sargassum fluitans* y sus partes características.

1. Vista del alga en general. 2. Vista del estípide bajo el estereoscopio. 3. Aerocistos del *S. fluitans* bajo el estereoscopio.

El estípite es cilíndrico y mide de 0,4 a 1,8 mm de espesor es liso o puede tener pocas espinas cerca del ápice (**Figura 9**), con una nervadura central bien formada en el centro rodeada de células redondeadas y una corteza de células de una sola capa. Las láminas son firmes, con forma lanceolada y ápices puntiagudos, los márgenes son aserrados con dientes ampliamente aplanados en la base. (Godínez-Ortega et al., 2021).



Figura 9. Estípite del tallo de *S. fluitans* presenta espinas.

Una forma muy característica de esta especie según Paredes-Camacho et al. (2023) se encuentra en la forma de su aerocisto, ya que sus vesículas son ovales y lisas. Las vesículas se alternan en el cauloide y tenían un pequeño pedicelo y un receptáculo ausente. (**Figura 10**). Estas vesículas suelen estar llenas de aire, y mejoran la flotación del alga.



Figura 10. Aerocistos de *S. fluitans* cuya forma es ovalada

Esta especie también flota estrictamente libremente en aguas de mar abierto y a menudo se encuentra en grandes grupos o balsas en aguas superficiales; suele ser un componente importante de la deriva de la playa. (Littler et al., 1989).

Su distribución abarca estados como Florida, Texas, Virginia y Carolina del Norte en Estados Unidos, así mismo abarca la mayoría de los países en América Central y Colombia. También se encuentra presente en la mayoría de las islas del caribe como Jamaica, República Dominicana, Barbados, Cuba, Martinica. (Godínez-Ortega et al., 2021).

4.2 Interpretación de los resultados estadísticos

El análisis de la biomasa representado en las gráficas de boxplot sugiere que los datos muestran que la biomasa promedio de sargazo en libras varió considerablemente a lo largo de los meses estudiados en las playas.

Para playa Nombre de Dios en mayo, la media más alta fue de 14.150 libras, seguida de 3.205 libras en diciembre. Junio registró una media de 2.840 libras, mientras que julio presentó una media de 0.67 libras. Por otro lado, los meses de agosto a noviembre mostraron una media de biomasa de 0 libras, lo que indica una ausencia significativa de sargazo durante esos períodos.

Para playa La Angosta el boxplot indica que las cantidades de sargazo fluctuaron mensualmente. Donde en mayo la cantidad promedio de sargazo fue de aproximadamente 3.8 libras, mientras que en junio fue de alrededor de 1.2 libras. Los meses de julio, agosto, septiembre y noviembre no presentaron presencia de sargazo en las playas estudiadas. En diciembre, la cantidad promedio de sargazo fue de aproximadamente 1.07 libras.

El análisis de tendencia indicó una disminución en la cantidad de sargazo a lo largo del tiempo en ambas playas. Sin embargo, dado que los datos son discretos y solo abarcan un período de varios meses, la interpretación de una tendencia puede ser limitada.

Observando los datos, parece que la cantidad de sargazo disminuye gradualmente a lo largo de los meses en ambas playas. Sin embargo, también hay meses donde no se registra ninguna cantidad de sargazo (julio a noviembre), lo que dificulta la identificación de una tendencia clara.

Dado que existe una variación en ambas playas para determinar la cantidad de sargazo que llega se realizó la prueba de Shapiro-Wilk con el fin de analizar las variaciones que ha tenido el sargazo con el pasar de los meses, los resultados a simple vista podrían demostrar que hay diferencias entre ambas playas, además de ser playa Nombre de Dios la que mayor cantidad de sargazo tuvo durante los meses estudiados a diferencia de playa La Angosta que tuvo datos promedios muy bajos.

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk sugieren que los datos de la cantidad de sargazo tanto para playa Nombre de Dios como para playa La Angosta no siguen una distribución normal, el no cumplimiento del supuesto de la normalidad de los datos afecta a las pruebas de hipótesis paramétricos (Arnau, 1996). Dado que estos datos no siguen una distribución normal se

recomienda realizar pruebas no paramétricas lo que respalda la elección de utilizar la prueba de Mann-Whitney. (Correa et al., 2006).

Los resultados de la prueba de Mann-Whitney sugieren que las cantidades de sargazo entre las playas Nombre de Dios y La Angosta son comparables y que no hay una diferencia significativa entre ellas durante el periodo de estudio. La prueba de Mann-Whitney establece la diferencia de dispersión de datos de un grupo con respecto a otro (Sánchez Turcios, 2015).

El estadístico de prueba W es una medida que indica la magnitud de la diferencia entre los dos grupos. Un valor p de 0.5852 significa que la probabilidad de observar una diferencia tan grande o más grande entre los grupos, si la hipótesis nula fuera verdadera (es decir, si no hubiera diferencia real entre las playas), es del 58.52%. Como este valor p es mayor que el nivel de significancia comúnmente utilizado de 0.05, no se puede concluir que haya una diferencia significativa entre las medianas de las cantidades de sargazo en las dos playas.

Se tomaron los registros de la marea para determinar si esta tenía relación con los arribazones a nuestras playas y con los datos promedios obtenidos del cuadro #6 se realizó la prueba de Correlación de Pearson ya que esta mide la naturaleza y fuerza entre dos variables cuantitativas, que permite describir la relación entre dos variables (Fiallos, 2021).

Nuestros resultados indican que no hay una correlación significativa entre las cantidades de sargazo y las alturas de marea en ninguna de las playas estudiadas.

Para playa Nombre de Dios el coeficiente de correlación de Pearson (r) es de 0.0111 y el valor p es de 0.9812. Un valor p alto (0.9812) sugiere que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que la correlación entre las cantidades de sargazo y las alturas de marea es igual a cero. Para playa La Angosta el coeficiente de correlación de Pearson (r) es de -0.0511 y el valor p es de 0.9133. De manera similar, el valor p alto (0.9133) indica que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que la correlación entre las cantidades de sargazo y las alturas de marea es igual a cero.

En resumen, según estos resultados, no se encontró una correlación significativa entre las cantidades de sargazo y las alturas de marea en ninguna de las dos playas durante el período de estudio. Esto sugiere que otros factores pueden tener un mayor impacto en la llegada del sargazo a la costa, como las corrientes marinas, el viento y la temperatura del agua.

V. GESTIÓN Y MITIGACIÓN

5.1 Uso y perspectiva del sargazo en la historia.

El primer uso documentado del sargazo se remonta a Cristóbal de Acosta, un médico y naturalista portugués del siglo XVI. En su obra de 1578, Acosta describió el sargazo que se encuentra en la región oriental de América, entre los 18 y 30° N. Observó que esta planta resistente se conservaba y se aromatizaba con hinojo, y relató cómo la utilizó para tratar a un marinero con infecciones urinarias, tanto en su forma cruda como cocida.

En 1750, el naturalista holandés Georg Eberhard Rumphius describió en su “Herbarium amboinense” el sargazo como una planta de hojas largas y estrechas, sin raíces, que se hervía y se consumía para tratar la retención de líquidos en los riñones (Rumphius, 1750). Jacques Christophe Valmont de Bomare, en su “Dictionnaire raisonné universal d’histoire naturelle”, describió en 1764 el sargazo de la costa oeste de África como *Fucus natans*, que se consumía en ensaladas y se utilizaba para facilitar el parto, tratar la retención de orina y combatir el escorbuto (Valmont de Bomare, 1764).

En 1771, el Dr. Vicente de Lardizábal Dubois, en su tratado sobre el sargazo titulado “La consolación de los navegantes”, lo denominó la lenteja de mar o berro de agua, y destacó su uso como alimento para aves y ganado en barcos, así como su utilidad medicinal contra el escorbuto (Lardizábal, 1771). Años más tarde, el Dr. Antonio Corbella publicó una disertación en la que desaconsejaba el uso del sargazo para tratar el escorbuto, argumentando que se podía tratar mejor con una dieta vegetariana tradicional y jugo de limón. En 1799, José de Viera y Clavijo mencionó el sargazo y presentó descripciones morfológicas y características de su hábitat, citando los usos publicados por Lardizábal (Viera & Clavijo, 1866). Las obras de Viera y Clavijo se publicaron en el siglo XIX. (Martin Aguado, 1957)

Durante el siglo XX y principios del XXI se han realizado numerosos esfuerzos de investigación y desarrollo tecnológico en torno al sargazo. Esta planta puede ofrecer alternativas sostenibles basadas en materias primas renovables para la producción de biocombustibles, así como la obtención de productos químicos como azúcares, proteínas, alginatos y fucoidanos. También se utiliza en la fabricación de productos farmacéuticos (antiproliferativos, antiprotozoarios,

antioxidantes, hepaprotectores, antileishmaniales), fertilizantes, cosméticos (para tratamientos capilares), bioplásticos, biopolímeros, celulosa y otros productos como materiales para hacer zapatos, ladrillos, barnices, papel, cartón, así como servicios sobre impactos ambientales (lixiviados) y sobre biorremediación. (Godínez-Ortega et al., 2021).

5.2 Procesamiento del sargazo para obtención de biogás

La utilización de algas para la producción de bioenergía, incluyendo biodiesel, bioetanol y biogás ofrece varias ventajas sobre los cultivos terrestres, ya que no compite por el uso de tierra ni consume agua necesaria para la producción de alimentos. El sargazo en particular tiene un alto contenido de proteínas, lo que lo hace adecuado para la digestión anaeróbica con sustratos de alto contenido de C/N, lo que puede aumentar el rendimiento de metano. Una alternativa para manejar la gran cantidad de sargazo en las zonas costeras es utilizarlo como biomasa para generar biogás mediante un proceso anaeróbico, convirtiéndolo así en una fuente de energía renovable (Rodríguez Cuevas et al., 2020).

Como prueba, La Universidad APEC de República Dominicana, en colaboración con la empresa MOAF de Israel, ha desarrollado un proyecto piloto que busca convertir el sargazo y otros desechos orgánicos en energía limpia. Este proyecto incluye una planta piloto de energía que producirá 1 MW de electricidad y más de 1 MW de calefacción. Se divide en dos fases: la primera se centra en la producción de combustible a partir del sargazo y otros desechos sólidos para convertirlos en biogás. En ésta se recolectan desechos orgánicos domésticos, animales y marinos, y se alimentan biodigestores con mezclas de sargazo y estiércol en diferentes proporciones. El objetivo es determinar la proporción que maximice la producción de biogás durante un período de treinta días. El estiércol se utiliza para activar los sistemas y mantener el proceso de biodigestión anaeróbica. El tiempo necesario para la descomposición bacteriana y la producción de metano en los biodigestores, así como otros gases, se pasa a través de filtros colocados en la salida de cada biodigestor para producir el biogás. Mientras que la segunda fase se enfoca en transformar el biogás en energía limpia y productos útiles adicionales. (Rodríguez Cuevas et al., 2020).

5.3 Procesamiento del sargazo para la creación de bloques de alimentos para rumiantes

La vegetación marina, compuesta principalmente por algas y pasto marino, es un recurso valioso con múltiples aplicaciones beneficiosas para los humanos, (Peraza, 1997). Las algas se utilizan para extraer alginatos, como alimento directo, en cosméticos y medicamentos y para obtener fertilizantes orgánicos. Además, son una fuente nutricional importante para animales, con un contenido de proteínas que puede alcanzar el 17%. Estudios han demostrado que las algas como el sargazo son ricas en yodo, azufre, potasio y cobalto, minerales que son necesarios para la ganadería bovina, (He et al, 2002). Estos minerales son deficientes en los forrajes y costosos en el mercado. Por lo tanto, las algas se consideran una alternativa para la alimentación de rumiantes, ya sea incorporándolas en alimentos balanceados o en bloques multinutritivos (BM). (Preston, 1998).

Los BM han demostrado ser efectivos como fuentes suplementarias de energía, urea como nitrógeno no proteico, vitaminas y minerales para animales en pastoreo, (Araque, 1995). La dureza de los BM es un factor importante, ya que afecta el consumo; deben ser lo suficientemente firmes para evitar un consumo excesivo, pero no demasiado duros. La dureza se ve influenciada por factores como la presencia de aglutinantes, como cemento Portland y cal de construcción (CaOH), y melaza. Los BM pueden elaborarse de manera rústica en el predio o mediante equipos industriales, (Amaro, 2008).

Las algas como el sargazo tienen niveles de magnesio, hierro, cobre, zinc y cobalto superiores a las necesidades de los bovinos (excepto el zinc en las algas rojas). Los forrajes que crecen en Yucatán tienen contenidos marginales de cobre y zinc, y un déficit de cobalto. Por lo tanto, la vegetación marina es una buena fuente de proteínas y micro minerales para la alimentación de rumiantes en pastoreo en Yucatán. (Bores et al., 2003).

Se concluyó que es factible utilizar la vegetación marina como fuente de proteínas y minerales en la elaboración de bloques muy nutricionales para rumiantes. Los bloques más duros se elaboraron con un 9.5% de vegetación marina, un 35% de melaza, un 9% de urea y un 5% de cal. Es necesario superar las dificultades de cosecha y limpieza de forma manual mediante el diseño de equipos mecánicos específicos para esta labor (Castellanos Ruelas et al., 2010)

5.4 Empléamiento del sargazo para la biorremediación de efluentes

Los elementos clave en la eutrofización son el nitrógeno y el fósforo (Davis et al., 2006). Se considera que estos nutrientes son los limitantes primarios para el crecimiento de las algas marinas en los ecosistemas naturales (Pedersen et al., 2010). Las algas adquieren estos nutrientes a través de varios mecanismos, incluyendo la difusión pasiva, la difusión facilitada y el transporte activo (Roleda & Hurd, 2019). Este proceso de absorción de nutrientes promueve el crecimiento de las algas y reduce la concentración de nutrientes disueltos, mejorando la calidad del agua (He et al., 2008).

El uso de algas marinas para consumir nitrógeno y fósforo ha encontrado aplicaciones en la biorremediación de efluentes, especialmente en aguas de acuicultura. Un enfoque alternativo es la acuicultura multitrófica integrada (IMTA), que promueve la sostenibilidad en la acuicultura al reducir la eutrofización mediante la integración de organismos de diferentes niveles tróficos en un solo sistema (Troell et al., 2009). En IMTA, una especie se complementa con otra, permitiendo que otros organismos utilicen alimentos no consumidos, desechos y otros materiales disueltos. En estos sistemas, los mejillones y las algas marinas pueden funcionar como biofiltros, consumiendo nitrógeno y fósforo y reduciendo sus concentraciones (Holdt & Edwards, 2014).

Mai et al. (2010) estudiaron el uso de *Sargassum pelágico* para la biorremediación de aguas de cultivo de langostinos. Descubrieron que el *Sargassum* no afectó significativamente el crecimiento del camarón y que los niveles de nitrógeno y fósforo se redujeron significativamente en comparación con el monocultivo de camarones. De manera similar, Yu et al. (2014) evaluaron la capacidad de biofiltrado de *Sargassum hemiphyllum* para la biorremediación de aguas de ostras y piscifactorías, concluyendo que el cultivo a gran escala de esta alga puede reducir el impacto ambiental de la acuicultura. *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans* también pueden tener el potencial de ser utilizados como biofiltros en IMTA, al igual que las especies de *Sargassum* mencionadas anteriormente.

Otra aplicación potencial de las algas en la biorremediación de efluentes es su uso para la eliminación de metales pesados a través de un proceso llamado biosorción. Este proceso fisicoquímico implica varios mecanismos, incluyendo adsorción, complejidad superficial, intercambio iónico y precipitación. De estos mecanismos, el intercambio iónico es el más relevante

en la biosorción de iones de metales pesados por las algas. Las algas pardas, incluyendo el sargassum, se consideran uno de los sustratos más prometedores para la biosorción de metales pesados (Arias Ruiz, 2023).

5.5 Medios de control para la proliferación de esta alga

- A. Extracción del sargazo de las playas: para abordar este problema, muchos países recolectan y retiran el sargazo poco después de su llegada a las playas y antes de que este comience su fase de descomposición. Algunas prácticas recomendadas para la recolección y eliminación del sargazo incluyen: la rápida eliminación del sargazo que ha llegado a la playa para prevenir su acumulación y descomposición. Establecer prioridades para la limpieza de áreas críticas, coordinar actividades entre propietarios de terrenos y vertederos cercanos, y elaborar un plan para reducir la erosión y la perturbación de la fauna. Evitar el uso de productos químicos. Diseñar estrategias de recolección y eliminación que minimicen la destrucción de la vegetación autóctona. Planificar e implementar estrategias para asegurar la limpieza del sargazo en la playa, ya sea manual o mecánicamente para minimizar los riesgos a los que se exponen los trabajadores. El equipo utilizado en la eliminación mecánica debe ser capaz de hacer ajustes que minimicen el movimiento y la extracción de arena. (EPA, 2023).

- B. Eliminación de algas con maquinaria pesada: este método implica el uso de bombas, trituradoras, transportadores y otros equipos de movimiento de tierras. Sin embargo, requiere una gran inversión tanto logística como financiera y puede causar ruido y alteraciones, lo que no es ideal en un entorno turístico además de esto, la extracción y limpieza del sargazo mediante maquinaria pesada puede resultar en la remoción significativa de arena, lo que a su vez contribuye a la erosión de las playas y causa daños al ecosistema.

- C. Exclusión mediante barreras: una opción para combatir la presencia de sargazo en el agua es prevenir que las acumulaciones de esta alga lleguen a la playa o la costa. Esto se logra desviándolas mar adentro mediante el uso de barreras de contención y otros métodos similares, aunque los resultados obtenidos han sido diversos, (EPA, 2023). Empresas como Elastec han optado por este método debido a su mínimo impacto. Las barreras de exclusión

se atan en lugares seleccionados para mantener el alga *Sargassum* alejada de la playa. De esta manera, las algas se desplazarán con el viento y la corriente, ya sea de vuelta al mar o a lo largo de la costa. (Elastec, s. f.).

- D. Conservación de la calidad del agua: es importante mantener franjas de césped cerca de las aguas superficiales como una especie de amortiguador entre las aguas, los pastizales y las áreas de cultivo. Una medida preventiva fundamental para preservar la calidad del agua es evitar la acumulación de nutrientes del suelo en las tierras agrícolas. Se sugiere instalar y utilizar bombas de pastizal para permitir que el ganado se hidrate de manera controlada sin tomar directamente del agua, evitando así la contaminación. Dentro de las cuencas hidrográficas es necesario implementar programas de buenas prácticas agrícolas. Estos programas buscan lograr mejoras cuantificables en la calidad del agua a largo plazo, evaluando aspectos como el nitrógeno y el fósforo totales. Además, es crucial mapear y definir las áreas donde se encuentran las fuentes de agua críticas en todas las cuencas agrícolas de la región. Esta acción, en colaboración con el gobierno local, permitirá una gestión adecuada de los recursos hídricos y la identificación de posibles riesgos futuros. Para conservar el agua se debe implementar un programa que incluya recirculación y reutilización del agua (previo tratamiento cuando sea necesario). También es importante llevar un registro del caudal anual aportado por las fuentes de agua y la cantidad de agua consumida en los procesos y actividades, junto con estrategias de ahorro. Finalmente, cualquier fuente de agua superficial o subterránea explotada debe contar con las concesiones y permisos correspondientes otorgados por la autoridad competente. (Banorte, 2018).
- E. Manejo correcto del ganado: es fundamental alejar a los animales de las áreas ribereñas mediante cercas y bloqueando su acceso a las aguas superficiales (ríos, lagos, arroyos, estanques, etc.). Esto se hace para prevenir la contaminación por heces, la erosión del suelo y los daños a la vegetación en las orillas de los cuerpos de agua. Para evitar el pastoreo excesivo en los pastizales, se recomienda implementar el pastoreo rotativo. Además, se permite el pastoreo en pendientes con más de 30 grados solo si no hay señales de erosión del suelo causada por el ganado. En caso contrario, se debe reducir la presión del pastoreo. Otras medidas importantes incluyen mejorar las prácticas de alimentación para aumentar la digestibilidad del alimento, reducir las emisiones de metano derivadas de la fermentación

entérica del ganado y respetar el número de cabezas de ganado recomendado por las autoridades para evitar la erosión del suelo y la sobreexplotación de pastizales y agua. (Banorte, 2018).

- F. Disminuir el uso de agroquímicos: se requiere establecer procedimientos para llevar a cabo tanto la mezcla como la aplicación de agroquímicos. Es fundamental designar y capacitar a las personas responsables de ejecutar estos procedimientos. Además, es necesario realizar inventarios y registros del uso de agroquímicos. La información obtenida debe analizarse para identificar las tendencias en la aplicación de productos durante los últimos cinco años. Esto permitirá determinar acciones como la rotación y la reducción del uso de productos químicos en la producción de cultivos. Para garantizar una aplicación eficiente, se debe asegurar la correcta calibración y mantenimiento de los equipos de aplicación de agroquímicos, con el objetivo de minimizar el desperdicio y la aplicación excesiva. Asimismo, es crucial almacenar los agroquímicos de manera que no representen un riesgo de contaminación para los cuerpos de agua y el entorno circundante. Entre las medidas necesarias se encuentra la protección contra la lluvia y el viento para evitar su dispersión. Para el control de poblaciones de plagas dañinas, se recomienda implementar un plan de manejo integrado de plagas. Este enfoque prioriza el uso de elementos físicos, mecánicos, culturales y biológicos, reduciendo al mínimo la necesidad de agroquímicos. El programa debe incluir capacitación para el personal sobre monitoreo y técnicas de manejo integrado de plagas. Finalmente, se deben establecer planes para disminuir gradualmente el uso de agroquímicos. (Banorte, 2018).

CONCLUSIONES

- Existe una variabilidad estacional en la irrupción del sargazo en las playas estudiadas, con una tendencia a una mayor llegada en ciertos meses y diferencias en la cantidad de sargazo entre las playas, siendo la temporada lluviosa una época de ausencia de este. Parece haber una mayor llegada de sargazo en los meses correspondientes a la temporada seca en Panamá, específicamente en mayo, seguida de una disminución en los meses de temporada lluviosa con un posible repunte en diciembre al acabar la temporada.
- La playa Nombre de Dios recibió una cantidad considerablemente mayor de sargazo en comparación con playa La Angosta. La suma total de sargazo en Nombre de Dios fue de 417.3 libras, mientras que en La Angosta fue de 124.3 libras. Ambas playas experimentaron la llegada de sargazo durante los meses de mayo, junio, julio y diciembre. Sin embargo, la cantidad de sargazo varía significativamente entre los meses y entre las playas.
- Las diferencias en la cantidad de sargazo entre las playas podrían deberse a una combinación de factores locales, como las corrientes marinas, la topografía submarina y la proximidad a las fuentes de sargazo. Además, los factores ambientales estacionales, como los patrones de viento y las condiciones oceánicas, también podrían influir en la llegada y acumulación de sargazo en estas áreas.
- La presencia exclusiva de *Sargassum fluitans* en ambas playas proporciona información importante sobre la ecología y la dinámica del hábitat costero. Se tienen datos de avistamientos de otras especies como *Sargassum natans*, pero durante los meses de estudio esta no fue encontrada.

RECOMENDACIONES

- 1) Instaurar un programa de monitoreo anual en las playas del Caribe con el objetivo de recopilar información detallada sobre las temporadas de arribazones de sargazo. Este programa permitirá establecer una base de datos sólida que servirá como referencia para comprender mejor la dinámica de este fenómeno y tomar medidas efectivas de gestión y control en el futuro.
- 2) Analizar los planes de control y gestión que han tenido éxito en otras regiones afectadas por el sargazo, con el objetivo de utilizarlos como referencia para abordar cualquier problemática que surja en nuestra región. Este enfoque nos permitirá aprender de las experiencias exitosas de otros lugares y adaptar estrategias efectivas para gestionar el sargazo de manera óptima en nuestro contexto.
- 3) Desarrollar un plan de contingencia para estar preparados ante posibles irrupciones inusuales de poblaciones de sargazo, tomando en cuenta las preocupaciones específicas de las comunidades costeras del caribe panameño. Este plan se diseñará con el fin de anticipar y gestionar eficazmente cualquier situación de emergencia relacionada con el sargazo, asegurando la protección de los ecosistemas costeros y el bienestar de las comunidades locales.
- 4) Es crucial crear conciencia en la población sobre los desafíos surgidos en los últimos años debido a los arribazones masivos de sargazo. Esta sensibilización es esencial para comprender los impactos ambientales, económicos y sociales de este fenómeno, así como para promover la participación en su gestión y control.
- 5) Investigar posibles riesgos generados por los arribazones del sargazo, hacia los diferentes ecosistemas marinos en las costas del caribe panameño.

REFERENCIAS

- Acosta, C. (1578). Tractado de las drogas, y medicinas de las Indias orientales, con sus plantas debuxadas al bino . . .Christoval Acosta. 448 p.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2023, 14 junio). *Contaminación por nutrientes / US EPA*. US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes#:~:text=El%20exceso%20de%20nitr%C3%B3geno%20y,pueden%20lidiar%20con%20esa%20cantidad.>
- Amaro, G.R. (2008). Elaboración artesanal y uso de bloques multinutricionales de melaza como suplemento alimenticio para ovinos. *Tecnologías para Ovinocultores. Sistema Producto Ovinos*. Ed. Programa de Apoyo a las Organizaciones de Productores Sociales Agropecuarios y Pesqueros. SAGARPA. México DF. 2008.
- Araque, C.A. (1995). Escalona M. Una nota sobre el uso de los bloques multinutricionales en ganado de ceiba. *Zootecnia Trop* 1995;13(1):87–94.
- Arias Ruiz, F.O. (2023). Estudio de la viabilidad de la valorización de las algas del género *Sargassum* del mar Caribe [Tesis de maestría, Universidad Miguel Hernández de Elche]. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/29889/1/TFM%20Arias%20Ruiz%2C%20Fany%20Omary.pdf>
- Arnau, J. (1996). Métodos y técnicas avanzadas de análisis de datos en ciencias del comportamiento. Ediciones Universitat Barcelona. <https://www.casadellibro.com/libro-metodos-y-tecnicas-avanzadas-de-analisis-de-datos-en-ciencias-del-comportamiento/9788492200436/552133>
- Arratibel, A.J. (2022, 23 septiembre). El potencial del sargazo: cuando el gran problema del Caribe se convierte en materia prima. *América Futura*. Recuperado 11 de enero de 2024, de <https://elpais.com/america-futura/2022-09-23/el-potencial-del-sargazo-cuando-el-gran-problema-del-caribe-se-convierte-en-materia-prima.html>
- Banorte, I.R. (2018). Recomendaciones para limitar la proliferación de sargazo en el caribe mexicano sector agropecuario. investors.banorte.com/~media/Files/B/Banorte-IR/sustainability/policies-andprocedures/es/Recomendaciones%20para%20limitar%20la%20proliferacin%20de%20sargazo%20en%20el%20Caribe%20Mexicano%20-%20Sector%20Agropecuario.pdf
- Berdalet, E., Fleming, L. E., Gowen, R., Davidson, K., Hess, P., Backer, L., & Enevoldsen, H. (2011). Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: challenges and opportunities in the 21st century. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1, 1-62. <https://doi.org/10.1017/S0025315415001733>

- Bores Q.R., & Castellanos R.A. (2003). Importancia de los minerales en la alimentación de los rumiantes en Yucatán. Publicación Técnica. Inst. Nal. de Invest. Agric. Forestales y Pecuarias–CONACyT SISIERRA. Mérida, Yuc. 2003. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242011000400009
- Castellanos Ruelas, A.F., Cauich Huchim, F., Chel Guerrero, L. A., & Rosado Rubio, J. G. (2010). Vegetación marina en la elaboración de bloques multinutritivos para la alimentación de rumiantes. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(1). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000100007
- Colón, C (1892). Relaciones y Cartas. Madrid: Librería de la Viuda de Hernando y Ca.; 423 p.
- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., & Silva, R. (2020). Massive influx of pelagic Sargassum spp. on the coasts of the Mexican Caribbean 2014-2020: challenges and opportunities. *Water*, 12(10), 2908.
- Chieffi, T. (2023). A giant blob of seaweed is headed to Florida and the Caribbean could it ruin your beach vacation? The Points Guy. <https://thepointsguy.com/news/sargassum-seaweed-florida-caribbean-beaches/>
- Correa, J., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(1), 57–76. https://www.researchgate.net/publication/4830223_Estudio_de_potencia_de_pruebas_de_homogeneidad_de_varianza
- Critchley, A.T., Farnham, W.F. & Morrell, S.L. (1983). A chronology of new European sites of attachment for the invasive brown alga, *Sargassum muticum*, 1973-1981. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 63(1), 799-811.
- Cropper, T.E., Hanna, E., & Bigg, G.R., (2014). Spatial and temporal seasonal trends in coastal upwelling off Northwest Africa, 1981-2012. *Deep-Sea Res. Part I-Oceanogr. Res. Pap.* 86, 94-111.
- Davis, A.P., Shokouhian, M., Sharma, H., & Minami, C. (2006). Water quality improvement through bioretention media: nitrogen and phosphorus removal. *Water Environ. Res.* 78: 284–293.
- Elastec. (s.f.). Cómo controlar el alga Sargazo. Recuperado de <https://www.elastec.com/es/how-to-control-sargassum-seaweed/>
- Eno, N.C., Clark, R.A. & Sanderson, W.G. (eds). (1997). Non-native marine species in

British waters: a review and directory, JNCC, Peterborough. ISBN 1 86107 442 5

- EPA. (2023). Métodos para controlar los eventos de inundación de sargazo (SIE) <https://espanol.epa.gov/espanol/metodos-para-controlar-los-eventos-de-inundacion-de-sargazo-sie>
- Fernández, C., & Wysor, B. (2020). Colecta y Preservación de macroalgas marinas. Smithsonian Institution. Recuperado 4 de enero de 2024, de https://striresearch.si.edu/taxonomy-training/wp-content/uploads/sites/31/2020/03/Colecta_Preservacion_Macroalgas_Marinas.pdf
- Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina*, 5(3), 2491-2509. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Franks, J.S., Johnson, D.R., & Ko, D.S. (2016). Pelagic sargassum in the tropical North Atlantic. *Gulf and Caribbean Research*, 27(1), 6-11. <https://doi.org/10.18785/gcr.2701.08>
- Frazier, J. (2014). Advanced Prediction of the Intra-Americas Sargassum Season through Analysis of the Sargassum Loop System Using Remote Sensing Technology. Master's thesis, Texas A & M University. Disponible en <https://hdl.handle.net/1969.1/153840>
- Gavio, B., Rincón-Díaz M.N. & Santos-Martínez A. (2015). Massive quantities of pelagic Sargassum on the shores of San Andrés Island, Southwestern Caribbean. *Acta Biológica Colombiana* 20: 239–241.
- Godínez-Ortega, J.L., Cuatlán-Cortés, J.V., López-Bautista, J., & Van Tussenbroek, B. I. (2021). A natural history of floating sargassum species (Sargasso) from Mexico. In IntechOpen eBooks. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97230>
- Gollasch, S., Minchin, D., Rosenthal, H., & Voigt, M. (1999). Case Histories on Introduced Species: Their General Biology, Distribution, Range Expansion and Impact: Prepared by Members of the European Union Concerted Action on Testing Monitoring Systems for Risk Assessment of Harmful Introductions by Ships to European Waters (MAS-CT-97-0111). 74 pp. ISBN 3-89722-248-5
- Gower, J., & King, S. (2011). Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. *International Journal of Remote Sensing*, 32(7): 1917–1929.
- Gower, J., Young, E., & King, S. (2013). Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011. *Remote Sensing Letters*, 4(8), pp. 764–773. doi:10.1080/2150704X.2013.796433
- Gower, J. & King, S.. (2019). The distribution of pelagic Sargassum observed with OLCI. *International Journal of Remote Sensing*. 41. 1-11. 10.1080/01431161.2019.1658240.

- Guzmán Ramírez, A.A. (2019). Análisis espacio-temporal de la distribución de sargazo (*Sargassum natans* y *S. fluitans*) en la costa de Quintana Roo, México. Encontrado en <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/24951>
- Hardy, F.G., Guiry, M.D., Arnold, H.R., & Arnold, H.R. (2006). A check-list and atlas of the seaweeds of Britain and Ireland. Gantner Publishing.
- He, M.L., Hollowich W, & Rambeck WA. (2002). Supplementation of algae to the diet of pigs: a new possibility to improve iodine content in meat. *J Anim Physiol & Anim Nutr* 2002;86:97–104.
- He, P., Xu, S., Zhang, H., Wen, S., Dai, Y., Lin, S., & Yarish, C. (2008). Bioremediation efficiency in the removal of dissolved inorganic nutrients by the red seaweed, *Porphyra yezoensis*, cultivated in the open sea. *Water Res.* 42: 1281–1289.
- Holdt, S.L., & Edwards, M.D. (2014). Cost-effective IMTA: a comparison of the production efficiencies of mussels and seaweed. *Journal of Applied Phycology* 26: 933-945.
- Huffard, C. L., Von Thun, S., Sherman, A. D., Sealey, K., & Smith, K. L. (2014). Pelagic *Sargassum* community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*, 161(12), 2735-2751.
- Humboldt, A., & Colón, C (1892). El descubrimiento de América: historia de la geografía del Nuevo Continente y de los progresos de la astronomía náutica en los siglos XV y XVI. Tomo II. Madrid: Librería de la Viuda de Hernando y C^a. 382 p.
- Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. (2022). Régimen Pluviométrico de Panamá. IMHPA. Recuperado 14 de febrero de 2024, de <https://www.imhpa.gob.pa/es/regimen-pluviometrico-panama>
- Johnson D.R., Ko D.S., Frank J.S., Moreno P. & Sanchez-Rubio G. 2013. The *Sargassum* invasion of the Eastern Caribbean and dynamics of the Equatorial North Atlantic. *Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 5–9 November 2012, Santa Marta, Colombia, pp. 102–103.
- Lapointe, B.E., Brewton, R.A., Herren, L.W., Wang, M., Hu, C., McGillicuddy, D. J., Lindell, S., Hernandez, F.J., & Morton, P.L. (2021). Nutrient content and stoichiometry of pelagic *Sargassum* reflects increasing nitrogen availability in the Atlantic Basin. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23135-7>

- Lardizábal, V. (1771). Consuelo de Navegantes... Madrid: Oficina de D. Antonio Sanz, Impresor del Rey nuestro Señor, y de su Real consejo; 1772. 230 p. <https://play.google.com/books/reader?id=TRkKq1rC95AC&hl=es&pg=GBS.PT1>
- León, C. 2019. El sargazo a escena. Salud Pública Mex.61:701-703. <https://doi.org/10.21149/10870>
- Littler, D.S., & Littler, M. 2000. Caribbean Reef Plants. Washington, D.C.: OffShore Graphics. 542 p.
- López-González, I.E., Lucho-Constantino, C.A., & López-Pérez, P.A. (2023). La invasión de sargazo: De un problema ambiental a un área de oportunidad. Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales, 10. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/aactm/article/view/11236/10571>
- López González, I.E., Lucho Constantino , C.A., & López Pérez, P.A. (2023). La invasión de sargazo: de un problema ambiental a un área de oportunidad. *Tópicos De Investigación En Ciencias De La Tierra Y Materiales*, 10(10), 18-26. <https://doi.org/10.29057/aactm.v10i10.11236>
- López, C.B., Dortch, Q., Jewett, E.B., & Garrison, D. (2008). Scientific Assessment of Marine Harmful Algal Blooms. Interagency Working Group on Harmful Algal Blooms, Hypoxia, and Human Health of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology. Washington, D.C.
- Mai, H., Fotedar, R., Fewtrell, J. (2010). Evaluation of Sargassum sp. as a nutrient-sink in an integrated seaweed-prawn (ISP) culture system. Aquaculture 310: 91-98.
- Martin Aguado, M. (1957). Las algas de Canarias en la obra científica de Viera y Clavijo. Revista de historia canaria. Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de La Laguna.1957;23(117-118):6-52. <https://mdc.ulpgc.es/cdm/ref/collection/revhiscan/id/178>
- Martínez-González, G.I. (2019). Sargassum: the atypical irruption of an ancient ecosystem. Salud Publica de Mexico, 61(5, sep-oct), 698. <https://doi.org/10.21149/10838>
- Mi Ambiente. (2022). Costas del Caribe panameño presentan proliferación inusual de sargazo - MiAmbiente. MiAmbiente - Ministerio de Ambiente. <https://www.miambiente.gob.pa/costas-del-caribe-panameno-presentan-proliferacion-inusual-de-sargazo/>

- Mostacedo, B.M., & Fredericksen, T.F.. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. Recuperado 8 de marzo de 2023, de https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACL893.pdf
- NOAA Coast Watch. (2023). Sargassum FAQ. Recuperado el 25 de enero de 2024 de <https://coastwatch.noaa.gov/cwn/news/2023-04-04/sargassum-faq.html>
- NOAA Ocean Exploration. (2021). What is Sargassum?: Ocean Exploration Facts: NOAA Ocean Exploration. NOAA Ocean Exploration. Recuperado 19 de junio de 2023, de <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/sargassum.html>
- Novillo, C. (2021, 15 junio). Qué es el sargazo. *ecologiaverde.com*. Recuperado 19 de junio de 2023, de https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-sargazo-2001.html#anchor_1
- Ojeda, C. (2019, 13 agosto). 6 especies (incluida el plástico) que hemos encontrado en el mar de los Sargazos. Greenpeace España. <https://es.greenpeace.org/es/noticias/6-especies-incluida-el-plastico-que-hemos-encontrado-en-el-mar-de-los-sargazos/#:~:text=Las%20agrupaciones%20flotantes%20de%20sargazo,%2C%20cangrejos%2C%20peces%20y%20gambas.>
- O’Shea, C.A. (2023). Julio de 2023 fue el mes más caluroso registrado - NASA. NASA. Recuperado 14 de febrero de 2024, de <https://www.nasa.gov/news-release/julio-de-2023-fue-el-mes-m%C3%A1s-caluroso-registrado/>
- Paerl, H.W., Joyner, J.J., Joyner, A.R., Arthur, K., Paul, V., O’Neil, J.M., & Heil, C.A. (2008). Co-occurrence of dinoflagellate and cyanobacterial harmful algal blooms in southwest Florida coastal waters: Dual nutrient (N and P) input controls. *Marine Ecology Progress Series*, 371, 143-153. <https://doi.org/10.3354/meps07681>
- Paredes-Camacho, R. M., González-Morales, S., Fuentes, J. A. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Benavides-Mendoza, A., Charles-Rodríguez, A. V., & Robledo-Olivo, A. (2023). Characterization of Sargassum spp. from the Mexican Caribbean and its valorization through fermentation process. *Processes*, 11(3), 685. <https://doi.org/10.3390/pr11030685>
- Parr, A.E. (1939). Quantitative Observations on the Pelagic Sargassum Vegetation of the Western North Atlantic With Preliminary Discussion of Morphology and Relationships (Vol. 6). https://elischolar.library.yale.edu/bulletin_yale_bingham_oceanographic_collection/40
- Pedersen, M.F., Borum, J., & Fotel, F.L., 2010. Phosphorus dynamics and limitation of fastand slow-growing temperate seaweeds in Oslofjord, Norway. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 399: 103–115.
- Peraza, M.G. (1997). Estudio de la etapa de tratamiento ácido en el proceso de obtención de alginato de sodio a partir de sargazo [Tesis licenciatura]. Mérida, Yuc.; Universidad Autónoma de Yucatán; 1997.

- Putman, N.F., Gõni, G., Gramer, L. J., Hu, C., Johns, E., Triñanes, J., & Wang, M. (2018). Simulating transport pathways of pelagic sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, 165, 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.06.009>
- Preston T., L.R. (1998). Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles. Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque de la nutrición de rumiantes en el trópico. 2a ed. Condrít. Cali, Col. 1998.
- Resiere, D., Mehdaoui, H., Florentin, J., Gueye, P., Lebrun, T., Blateau, A & Nevier, R. (2021). Sargassum seaweed health menace in the Caribbean: Clinical characteristics of a population exposed to hydrogen sulfide during the 2018 massive stranding. *Clinical Toxicology*, 59(3), 215-223
- Rivera-Arriaga, E., Azuz-Adeath, I., Cervantes Rosas, O.D., Espinoza-Tenorio A., Silva Casarín, A., Ortega-Rubio, A., Botello, A.V. & Vega-Serratos, B.E. (2020). Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre. Una Guía para Tomadores de Decisiones. Universidad Autónoma de Campeche, Ricomar, 894 p. DOI: 10.26359/epomex.0120
- Rodríguez Cuevas, A., Rivera, E., & Gil, J.A. (2020). Estudio de caso: transformación de sargazo y desechos orgánicos en energía limpia. *Revista Estudios Generales No5*. https://issuu.com/unapec/docs/revista_estudios_generales/s/11083671#:~:text=De%20manera%20que%20una%20de,como%20fuente%20de%20energ%C3%ADa%20renovable.
- Rodríguez-Martínez, R.E., van Tussenbroek, B., & Jordán-Dahlgren, E. (2016). Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014–2015). *Florecimientos Algales Nocivos en México. Ensenada: CICESE, 2016*, 352-365.
- Rogers, C., Garrison, G., Grober, R., Hillis, Z.M., & Frank, M. 2001. Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic (2nd ed., Vol. 1). Florida Integrated Science Center.
- Roleda, M.J., & Hurd, C.L. (2019) Seaweed Nutrient Physiology: Application of Concepts to Aquaculture and Bioremediation. *Phycologia* 58: 552-562.
- Rubio, A. (1955). *Pequeño atlas geográfico de Panamá* (4.ª ed.). Editora Istmeña. 69 p.
- Rumphius, G.E. 1750. *Herbarium amboinense ... pars sexta*. Vol. 6. Amstelaedami [Amsterdam]; 1750. 256 p.
- Sánchez Turcios, R.A. (2015). Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney: mitos y realidades. *Revista Mexicana de Endocrinología, Metabolismo & Nutrición*, 2(1), 18-21. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistamexicanadeendocrinologiametabolismo&nutricion/2015/vol2/no1/3.pdf>

- Sissini, M. N., De Barros Barreto, M. B. B., De Széchy, M. T. M., De Lucena, M. B., De Oliveira, M. C., Gower, J. F. R., Liu, G., Bastos, E., Milstein, D., Gusmão, F., Filho, J. E. M., Alves-Lima, C., Colepicolo, P., Ameka, G., De Graft-Johnson, K., Gouvêa, L. P., Torrano-Silva, B. N., Nauer, F., De Castro Nunes, J. M., . . . 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>
- Suárez, C.A. 2008. Fauna asociada a mantos de Sargassum (Ochrophyta:Fucales) en el Sauzo. Baja California Sur, México. Tesis Maestría. CICIMAR, IPN, B.C.S. México, 136 pp.
- Szechy M.T.M, Guedes P.M., Baeta-Neves M.H. & Oliveira E.N. 2012. Verification of Sargassum natans (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. *Check List* 8: 638– 641.
- Torres B. (2019). El Sargazo en las Costas Mexicanas – Dirección de Comunicación de la Ciencia. Recuperado 19 de junio de 2023, de <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/el-sargazo-en-las-costa-mexicanas/>
- Torres-Conde, E.G., & Martínez-Daranas, B. (2020). Análisis espacio-temporal y oceanográfico de las arribazones de sargassum pelágico en las playas del este de la Habana, Cuba. *REVISTA DE INVESTIGACIONES MARINAS*, 40(1). <http://hdl.handle.net/1834/17768>
- Troell, M., Joyce, A., Chopin, T., Neori, A., Buschmann, A.H., & Fang, J.G. (2009). Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture* 297: 1-9.
- Uribe-Martínez, A., & Guzmán-Ramírez, A., & Arreguín-Sánchez, F. & Cuevas, E. (2020). El sargazo en el Caribe mexicano, revisión de una historia impensable.
- Valiela, I., McClelland, J., Hauxwell, J., Behr, P. J., Hersh, D. & Foreman, K. (1997). Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography*, 42(5), 1105-1118.
- Valmont de Bomare, J.C. (1764). *Dictionnaire raisonné universel d’histoire naturelle*. T. 3. Paris; 764. 606 p.
- Viera y Clavijo, J de. (1866). *Diccionario de Historia natural de las Islas Canarias, ...Tomo I. Las Palmas; 1866. 344 p.*
- Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G. T., Lapointe, B. E., & Montoya, J. P. (2019). The great Atlantic Sargassum belt. *Science*, 365(6448), 83-87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>

- Williams, A., & Feagin, R. (2010). Sargassum as a natural solution to enhance dune plant growth. *Environmental Management*, 46: 738-747. doi:10.1007/s00267-010-9558-3.
- Ye, N.H., Zhang, X.W., Mao, Y.Z., Liang, C.W., Xu, D., Zou, J., Zhuang, Z. & Wang, Q.Y. (2011). 'Green tides' are overwhelming the coastline of our blue planet: taking the world's largest example. *Ecology Research*, 26(3), 477-485.
- Yu, Z, Zhu, X, Jiang, Y, Luo, P, & Hu, C. (2014). Bioremediation and fodder potentials of two Sargassum spp. in coastal waters of Shenzhen, South China. *Mar Pollut Bull.* 85: 797-802.

ANEXO



Anexo 1. Depósito de las muestras de sargazo luego de la toma de peso por metro cuadrado.



Anexo 2. Contabilización y registro de las poblaciones de sargazo encontradas dentro del transecto establecido.



Anexo 3. Comunidades de sargazo en la costa de la playa La Angosta.



Anexo 4. Medida del peso de las comunidades del sargazo que se encontraban dentro del metro cuadrado



Anexo 5. Ejemplares de las comunidades de sargazo en playas alternas a las seleccionadas para muestreo.



Anexo 6. Comunidades de sargazo en la costa de la playa Nombre de Dios.



Anexo 7. Empleo de los cuadrantes de PVC en la arena, para la contabilización de las poblaciones de sargazo.



Anexo 8. Estructuras observadas del *Sargassum fluitans*.



Anexo 9. Estructura completa de *Sargassum fluitans*.



Anexo 10. Playa La Angosta.



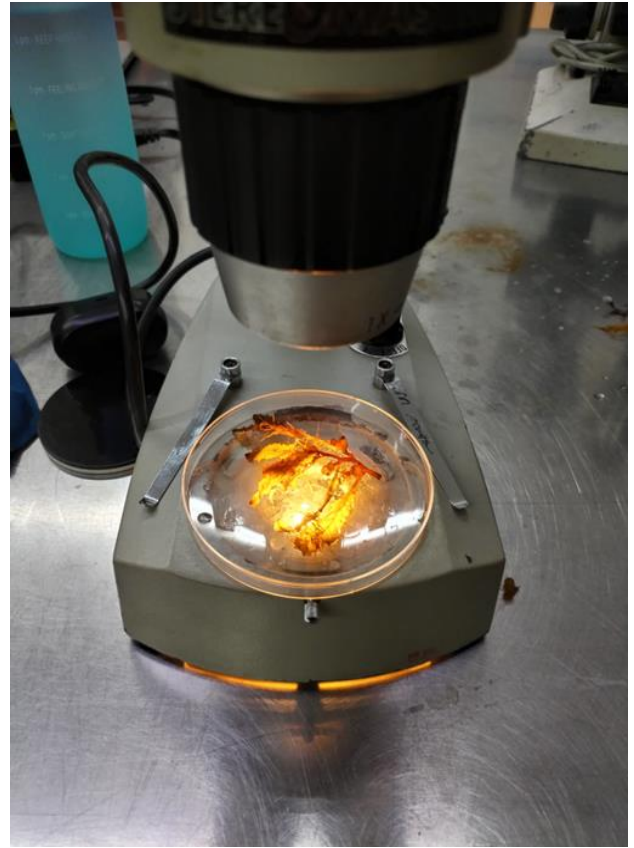
Anexo 11. Playa Nombre de Dios.



Anexo 12. Material utilizado para contabilizar el peso de las comunidades de sargazo.



Anexo 13. Consulta con integrantes de la comunidad del pueblo Nombre de Dios.



Anexo 14. Uso del estereoscopio para la observación de las estructuras del sargazo.