



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

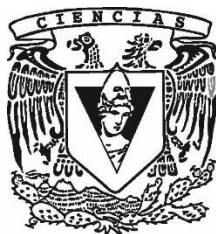
**No todo lo que llega a la playa es sargazo: Caracterización
y potencial de aprovechamiento de los arribazones de
macroalgas en Sisal, Yucatán.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADA EN MANEJO
SUSTENTABLE DE ZONAS COSTERAS
P R E S E N T A:**

SILVIA VALERY AVILA MOSQUEDA



DIRECTORA DE TESIS:

DRA. ILEANA ORTEGÓN AZNAR

Sisal, Yucatán, abril 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno:

Silvia Valery Ávila Mosqueda
9993312139
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Manejo Sustentable de Zonas Costeras
310605498

2. Datos del Tutor:

Dra. Ileana Ortegón Aznar
Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,
Universidad Autónoma de Yucatán

3. Sinodal 1.

Dra. Hilda Patricia León Tejera
Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México

4. Sinodal 2.

M en C. María del Carmen Galindo de Santiago
Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL

5. Sinodal 3.

Dra. Alejandra Prieto Davó
Facultad de Química,
Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL

6. Sinodal 4

Dra. Cecilia Elizabeth Enríquez Ortiz
Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación del SISAL

7. Datos trabajo escrito:

No todo lo que llega a la playa es sargazo: Caracterización y potencial de aprovechamiento de los arribazones de macroalgas en Sisal, Yucatán.

67p
2021

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a sus instalaciones en la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de Sisal donde se llevó a cabo el trabajo.

A mis colegas y amigos Mariana Álvarez Rocha, Luis Fernando Ayuso Pino, Lucía Guerra Cano, Juan Lara Rodríguez y a sus alumnos del CETMAR #17 por ayudar en el trabajo de campo y laboratorio.

A la Dra. Ana María Suárez por brindarme su conocimiento, cariño y apoyo y siempre estar al pendiente de mi desarrollo como profesionista.

A todos los sinodales por sus enseñanzas, tiempo y apoyo durante mi formación académica.

Al Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros por brindarme los datos oceanográficos para este proyecto.

A mi familia que, aunque no entiendan bien lo que hago, ven mi pasión y me apoyan siempre. Los amo mucho.

A mis amigos de manejo Misha, Fer, Vane, Migue, Meli y Richi por su cariño y apoyo incondicional. También los amo mucho, son de lo más importante en mi vida.

A Andrés Hiram Zayola Medina, que fue un gran apoyo durante una buena parte de este periodo. Por fin salió alga.

Índice

Resumen.....	9
1. Introducción	10
2. Marco Teórico	13
2.1 Caracterización de las macroalgas marinas de Yucatán y Sisal	13
2.2 Arribazones de macroalgas	14
2.3 Arribazones de macroalgas en Yucatán	16
2.4 Potencial de aprovechamiento de las macroalgas de arribazón	17
3. Antecedentes	19
4. Hipótesis	21
5. Objetivo General	21
5.1 Objetivos específicos	21
6. Área de Estudio.....	22
7. Materiales y métodos	25
7.1 Variables oceanográficas	26
7.1.2. Análisis de variables oceanográficas	27
7.2 Análisis estadísticos	27
7.2.1 Biomasa húmeda.....	30
7.2.2 Composición	30
8. RESULTADOS.....	31
8.1 Composición específica de los arribazones	31
8.2 Variación mensual de la biomasa	33
8.2.1 Variación mensual de especies y grupos algales con base en la biomasa	33
8.2.2 Variación temporal de la biomasa de arribazón.....	37
8.2.3 Variación espacial de la biomasa	38
8.3 Condiciones oceanográficas imperantes	39
8.4 Potencial de aprovechamiento	48
9. Discusión	50
10. Conclusiones.....	56

11.	Implicaciones de manejo	57
12.	Bibliografía	58

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio, Oeste del muelle de Sisal, Yucatán	24
Figura 2. Diseño de muestreo en la playa de Sisal. a) Foto de la zona 1 y ejemplo de uno de los cuadrantes colectados, b) Foto zona 2 y ejemplo de uno de los cuadrantes colectados c) Foto zona 3 y ejemplo de uno de los cuadrantes colectados.....	26
Figura 3. Simplificación del método bootstrap averages	28
Figura 4. Proporción de la biomasa de especies y grupos algales de los arribazones durante los meses de muestreo, se presenta su valor en kg/m ² y su porcentaje respecto al total.....	33
Figura 5. Bootstrap con reemplazo de disposición de especies y grupos algales a lo largo de los meses de muestreo.	35
Figura 6. Análisis de porcentaje de similitud entre meses de especies-formas encontradas en columna apilada.	36
Figura 7. Variación de la biomasa mensual.	37
Figura 8. Variación mensual de la biomasa de arribazón por sitio	38
Figura 8. Variación mensual de la biomasa de arribazón por sitio	38
Figura 9. Serie de tiempo de las variaciones del nivel del mar durante el período de los muestreos. Las estrellas muestran la biomasa arribada a la playa en cada mes (kg/m ²).	40
Figura 10. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 1 y resultados de la biomasa arribada. Mostrados con los puntos de colores y cuantificados con la escala izquierda de la figura en cada uno de los sitios de muestreo del pueblo y puerto de abrigo. La figura muestra las variaciones del nivel del mar durante las horas del muestreo, cuantificadas con la escala derecha de la figura.....	41
Figura 11. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 2 y resultados de la biomasa arribada en cada uno de los sitios de muestreo desde el muelle hasta el puerto de abrigo.	42

Figura 12. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 3 y resultados de la biomasa arribada en cada uno de los sitios de muestreo desde el muelle hasta el puerto de abrigo. Mostrados con los puntos de colores y cuantificados con la escala izquierda de la figura. En cada uno de los sitios de muestreo del muelle, pueblo y puerto de abrigo. La figura muestra las variaciones del nivel del mar durante las horas del muestreo, cuantificadas la escala derecha de la figura..... 43

Figura 13. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 3 y resultados de la biomasa arribada en cada uno de los sitios de muestreo desde el muelle hasta el puerto de abrigo. Mostrados con los puntos de colores y cuantificados con la escala izquierda de la figura. En cada uno de los sitios de muestreo del muelle, pueblo y puerto de abrigo. La figura muestra las variaciones del nivel del mar durante las horas del muestreo, cuantificadas la escala derecha de la figura..... 44

Figura 14. Imágenes tomadas del observatorio costero de Sisal 1ro de febrero del 2018: 45

Figura 15. Serie de tiempo de las condiciones de oleaje (A) altura significativa, B) dirección y C) período) durante los muestreos. Los resultados de biomasa arribada se grafican en cruces azules para cada uno de los muestreos..... 47

Lista de tablas

Tabla 1. Especies presentes en los arribazones de Sisal, Yucatán, época de Nortes 2017-2018.	32
Tabla 2. ANOSIM, comparación de la composición entre meses	34
Tabla 3. PERMANOVA de una vía para comparación entre meses	37
Tabla 4. PERMANOVA de una vía para comparación entre sitios	38
Tabla 5. Usos descritos de las macroalgas dominantes de los arribazones de Sisal, Yucatán.	49

Resumen

Los arribazones de macroalgas son eventos cíclicos en las costas de Yucatán, ocurren durante la época de Nortes cuando las condiciones meteorológicas y oceanográficas se intensifican. A pesar de ser eventos comunes y que generan problemáticas sociales, se carece de información sobre ellos. El objetivo de este trabajo fue analizar la abundancia, composición, distribución, condiciones oceanográficas relacionadas y usos potenciales, de los arribazones de macroalgas de Sisal Yucatán en la temporada de nortes 2017-2018. Se muestreó una vez al mes de diciembre de 2017 a marzo de 2018, usando tres transectos de 30 metros en tres zonas al oeste del muelle en la playa de Sisal; colocando tres cuadrantes de 25x25 cm alternados cada 10m y se colectó la biomasa. Las algas fueron enjuagadas, escurridas, separadas, pesadas e identificadas. Para las condiciones oceanográficas se emplearon datos de oleaje (hs) y marea (nm) durante los meses de muestreo y se graficaron junto con los datos biomasa húmeda para buscar relaciones. Para el potencial de aprovechamiento se realizó una búsqueda bibliográfica de los usos potenciales. Los resultados indicaron que las especies dominante de los arribazones fueron de la división Rhodophyta, género *Alsidium*. y que existieron diferencias significativas de biomasa en espacio (Pseudo-F: 8.5063, $p=0.001$) y tiempo (Pseudo-F: 3.3936, $p=0.033$). También se observó que el oleaje intenso de los eventos de Norte tiene una relación positiva con la biomasa y que la marea actúa como agente de resuspensión de las macroalgas, pero no afecta en la cantidad de biomasa arribada a la playa. Los resultados de este trabajo indican que existe biomasa suficiente ($>2\text{kg/m}^2$) para un aprovechamiento sustentable. Entre los usos descritos encontrados de potencial de aprovechamiento se encontraron extracción de compuestos con potencial biotecnológico, así como usos artesanales como elaboración de abono orgánico. Podemos concluir que los arribazones en Sisal no son arribazones de Sargazo como se creía y que, por sus características intrínsecas, tienen un amplio potencial de aprovechamiento para la comunidad pesquera de Sisal y la región.

1. Introducción

El sargazo es un término coloquial para definir a todos los organismos vegetales, ya sean pastos o algas flotantes que arriban a la costa., sin embargo, el nombre, en realidad pertenece a un grupo de macroalgas pardas del género *Sargassum*. De éste género, las especies, *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*, son pelágicas, es decir, que desarrollan todo su ciclo de vida flotando en la superficie del agua (García-Sánchez, *et al.*, 2020). Son muy abundantes y comunes en las costas del golfo de México y Mar Caribe (Franks *et al.*, 2016).

Las algas son un grupo de organismos fotosintéticos y polifiléticos (pertenecen a múltiples e independientes líneas evolutivas), que difieren de las plantas vasculares ya que carecen de raíces, hojas, tallo y tejidos vasculares (Barsanti y Gaultieri, 2014). Pueden presentar formas y tamaños variados, existen desde microscópicas unicelulares hasta macroscópicas de 50 metros de alto. Su presencia se extiende tanto en el medio acuático como terrestre. Para su estudio, las macroalgas se suelen clasificar por división, rojas (Rodophytas), verdes (Chlorophytas) y pardas (Ochrophyta o Heterokonphyta, según el autor que se emplee) (Guiry, 2012).

Su reproducción puede ser sexual o asexual y se puede alternar dependiendo de su ciclo de vida y de las condiciones en la que se encuentren. Entre sus principales funciones ecológicas son: La generación de una gran cantidad de oxígeno al planeta, brindar refugio y alimento a múltiples especies marinas, fijar el sedimento marino, además, proveen servicios ecosistémicos como el aporte de arena biogénica que se acumula en las playas (Huerta-Muzquiz, *et al.*, 1987., Ortegón-Aznar, *et al.*, 2010., Ángeles, 2014). Asimismo, las algas son empleadas en diferentes industrias como la alimenticia, agrícola y, farmacéutica entre otras, ya que contienen múltiples compuestos como agar, carragenina, alginatos, metabolitos secundarios, vitaminas, y minerales traza (Robledo-Ramírez y Freile-Pelegri, 1998., McHugh, 2002., Vargas-López., 2004., Ortegón-Aznar *et al.*, 2010., Suárez., *et al.*, 2015).

A pesar de tener tantas propiedades y jugar papeles ecológicos de alta relevancia, la eutrofización puede ocasionar el crecimiento descontrolado de las poblaciones de algas y provocar efectos negativos. El aumento poblacional de las algas puede ser tanto de microalgas como macroalgas. Los florecimientos de microalgas pueden ser tóxicos como los FAN (florecimientos algales nocivos) o no tóxicos (florecimientos algales no nocivos) lo que provoca mortalidad de diversas especies de importancia ecológica y comercial. En el caso del estado de Yucatán los FANs son reportados desde 1984. La mayoría de estos eventos se originan en la zona de surgencia de Cabo Catoche los cuales posteriormente son transportados por la zona costera en dirección oeste gracias a factores como la batimetría del banco de Campeche, los vientos del norte o la transferencia de momentum de la corriente de Yucatán (Anderson, 1989., Bianchi *et al.*, 1998., Carstensen, *et al.*, 2007., Enríquez, *et al.*, 2010).

Otra problemática a causa de la eutrofización y el crecimiento de las poblaciones de algas, son los arribazones masivos de macroalgas. Estos eventos consisten en la proliferación excesiva de macroalgas en un punto de origen local o regional, seguido de su transporte a la zona costera gracias a las condiciones oceanográficas (oleaje, corrientes, viento) y por último la deposición y acumulación en la zona litoral. (Hartmann, *et al.*, 1982., Portillo-Hahnefeld, 2008., Ye *et al.*, 2011., Gómez-Rodríguez, 2015).

Estos eventos tienen diversas consecuencias principalmente para el sector turístico, ya que la acumulación no permite el pleno goce de los turistas en las playas, aunado a la proliferación de malos olores y compuestos peligrosos como el ácido sulfúrico (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). También han sido reportados problemas ecológicos que van desde la compactación del suelo hasta la mortalidad de organismos como tortugas marinas, pastos marinos y corales (van Tussenbroek, *et al.*, 2017).

Las afluencias masivas de sargazo que ocurren en el Mar Caribe tienen como principal agente causal a la eutrofización de las aguas, en especial en la zona de recirculación norecuatorial donde se concentra el *Sargassum* (García-Sánchez, *et al.*, 2020). Una situación muy distinta ocurre en las costas del estado de Yucatán donde, los

arribazones de macroalgas se encuentran compuestos principalmente por macroalgas bénticas desprendidas y en mucha menor cantidad, sargazo pelágico. Los eventos están asociados a un desprendimiento estacional de vegetación cercano a la localidad (Rosado-Espinosa, 2012., Núñez *et al.*, 2019). Las macroalgas son transportadas hacia la costa por la dinámica oceanográfica y posteriormente estas se acumulan en las playas (Rosado-Espinosa, 2012., Reséndiz *et al.*, 2019).

Es importante destacar el origen y especies dominantes de los arribazones de algas en las costas de Yucatán, como es el caso de Sisal; ya que desde que comenzaron los arribazones de *Sargassum* spp. en el Mar Caribe, conocido coloquialmente como sargazo, existe una confusión generalizada y se cree que también llegan las afluencias masivas de *Sargassum* spp. a las costas del estado de Yucatán.

Por estas razones, los estudios de caracterización ficológica que determinan composición y agentes causales de los arribazones permiten crear los fundamentos para adoptar medidas de manejo para su buena disposición, manejo y aprovechamiento, dependiendo del tipo de evento que se trate.

2. Marco Teórico

2.1 Caracterización de las macroalgas marinas de Yucatán y Sisal

Caracterizar, se define como "determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás" (RAE,2020). El concepto se puede emplear a cualquier tipo de objeto o sistema del cual se quiera proporcionar una descripción acerca de sus propiedades o procesos que lo separen o diferencie de un conjunto.

Los estudios de caracterización suelen ser la línea base de muchos temas de investigación ya que proporcionan la información básica fundamental del sujeto de estudio (Czeżowski, 2000).

En la rama de la ficología existen muchos estudios de caracterización, los cuales abarcan diversos temas como el estudio de la morfología, taxonomía, listados ficoflorísticos y, biodiversidad, que suelen estar complementados con las características ambientales, bióticas, físicoquímicas etc. (Serviere-Zaragoza *et al.*, 1992., Santelices y Meneses., 2000., Rosado-Espinoza, 2012., Fraga., 2014).

Es por ello, que en este trabajo usaremos el término "caracterizar" para describir las características taxonómicas, biomasa y distribución de los arribazones de macroalgas de Sisal, Yucatán.

En las costas de Yucatán podemos encontrar una amplia riqueza de macroalgas., Las tres divisiones (Rhodophyta, Chlorophyta y Heterocontophyta) se encuentran bien representadas en el litoral, debido a que las aguas poco profundas y cálidas en conjunto con los sustratos rocosos y arenosos de la zona costera, son sitios idóneos para su establecimiento y desarrollo donde las macroalgas rojas son las dominantes, seguidas de las verdes y por último las cafés. (Huerta-Muzquiz,1935., Ortegón-Aznar *et al.*, 2010).

El fondo marino de la zona de Sisal, Yucatán es un sitio con alta diversidad, que se encuentra conformado principalmente por arena y macroalgas, siendo las algas rojas las más diversas, seguidas de las verdes y por último las cafés (Ortegón-Aznar *et al.*, 2010., Orvañanos, 2010).

2.2 Arribazones de macroalgas

Algunas de las primeras investigaciones ecológicas de estos eventos comenzaron en España debido al interés económico que representaban las macroalgas del género *Gelidium*, que arribaban ya que son descritas como productoras de agar, por lo que era necesario conocer la biomasa que se produce por arribazón, la distribución a lo largo de las costas y posteriormente evaluar la calidad del agar (Borja., 1987^a., Borja., 1987b., Borja., 1994).

Pocos años después en otras partes de Europa y el mundo, como el Mar Amarillo en China, el interés por estudiar estos eventos se tornó en una necesidad, debido a que los arribazones se empezaron a presentar de manera anormal. No eran eventos naturales y cíclicos como en el caso de España, en cambio, parecían fenómenos suscitados a causa de las actividades humanas (Schramm y Nienhuis, 1996). Debido al aumento de nutrientes en las zonas costeras, en sitios que anteriormente eran oligotróficos se empezaron a observar problemas de crecimiento exacerbado de macroalgas de los géneros *Enteromorpha* y *Ulva* las cuales comenzaron a arribar a las playas con una frecuencia impredecible y en cantidades exorbitantes. Las investigaciones que se iniciaron para comprender los fenómenos giraron en torno a los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, fisiología de las macroalgas y determinación de las influencias que provocaron el desequilibrio acuático (Schramm y Nienhuis, 1996).

De manera simultánea, algunos investigadores comenzaron a trabajar con arribazones de macroalgas de manera local en distintos sitios como Florida, Cuba, el mar Báltico y, el mediterráneo, entre otros. (Hanisak, 1993., Nilka de Oliveira *et al.*, 2009). Se comenzó a conocer las causas de los eventos. Por un lado, se quería saber si las

macroalgas depositadas eran representativas de las praderas submarinas por lo que empezaron a aparecer investigaciones de análisis de composición, abundancias, distribución de los depósitos, mientras que otros estudios se enfocaban en la transformación, el flujo e incorporación de nutrientes a los sistemas costeros adenaños al mar (Hanisak, 1993., Kirkman y Kendrick, 1997., Orr *et al.*, 2005., Nilka de Oliveira *et al.*, 2009).

En la actualidad, los estudios de arribazones de macroalgas son tema de interés por las problemáticas que generan en las zonas costeras.

Los fenómenos de mareas verdes siguen siendo un tema en auge, aunque ya se cuenta con información valiosa de la fisiología de las algas y causas que originan estos eventos (Schramm y Nienhuis, 1996., Blomster, *et al.*, 2002., Ye, *et al.*, 2011), aun así, estos se siguen generando y con diversos impactos, principalmente sociales y ecológicos en diferentes costas del mundo (Smetacek y Zingone, 2013).

Estudios recientemente publicados sobre las mareas verdes abordan aspectos espaciales en los que se busca dimensionar las zonas impactadas, así como intentar predecir el brote de las masas de macroalgas y sus movimientos (Zhou, *et al.*, 2015., Xiao, *et al.*, 2017).

Un fenómeno reciente y de gran interés en esta región del país son los arribazones de *Sargassum* spp. a las costas del Mar Caribe. Los florecimientos masivos de *Sargassum* spp. comenzaron a suscitarse en el año 2011, luego se volvieron a presentar en 2015 y ahora en 2018, 2019 y 2020 regresaron de manera más intensa causando alteraciones a las zonas arrecifales y a pastos marinos, así como impactos socioeconómicos ya que el paisaje de las atractivas playas caribeñas se ha visto mermado a causa de la acumulación y descomposición de las macrofitas (Dreckmann y Senties, 2013., Smetacek y Zingone, 2013., Van Tussenbroek., 2017).

Poco se conoce aún sobre agentes causales e impactos ecológicos a largo plazo, por lo que las medidas de manejo también han sido deficientes. Estos arribazones provienen de la región de recirculación norecuatorial en el Atlántico tropical, donde las condiciones de nutrientes provenientes de las descargas de los ríos como el Amazonas y el Congo y las altas temperaturas favorecen el crecimiento de las macroalgas que posteriormente son transportadas por las corrientes hacia el mar Caribe (Rodríguez-Martínez., *et al.*, 2016., Johnson, *et al.*, 2013 en Berriel, 2018).

Los eventos están conformados por especies del género *Sargassum* provenientes de la familia *Sargassaceae*, orden fucales, clase *Phaeophyceae*, filo *Heterokontophyta*, reino *Chromista*. Inicialmente sólo se reconocían a las especies *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans* pero en los eventos más recientes 2018, 2019 se han encontrado otras variedades de *Sargassum* como *S. fluitans III*, *S. natans I* y *S. natans VIII* (Rodríguez-Martínez, *et al.*, 2020).

2.3 Arribazones de macroalgas en Yucatán

Los arribazones de macroalgas en Yucatán son eventos cíclicos y naturales que se presentan en época de Nortes, pero poco documentados a nivel científico.

Los “Nortes” que son fenómenos meteorológicos que se generan durante los meses de septiembre a febrero; son masas de aire que se forman en la zona Boreal del hemisferio norte y se mueven hacia el sur a zonas de baja presión, en las zonas de interfase donde las dos masas de aire se encuentran. El choque de las masas de aire provocan que el aire frío desplace y eleve el aire caliente lo que provoca vientos turbulentos, cambios de circulación, ráfagas, lluvia, tormentas cambios en los patrones de marea, oleaje, temperatura superficial del mar, entre otros (Gómez-Ramírez y Reséndiz-Espinosa, 2002., Bidegain, 2010., Rosado-Espinoza, 2012., CONAGUA, 2015., López y Domínguez, 2017).

Aunado a estos factores, los ciclos mareales tienen efectos directos en la suspensión de las algas. La pleamar favorece la entrada y el depósito de las algas hacia el interior de la playa ya que propicia que estas floten, mientras que en la bajamar las algas se depositan en la orilla de la playa. Por otro lado, la mayor deposición de algas en las playas ocurre en las primeras horas de la bajamar (Berriel, 2018). La composición de especies en distintas zonas puede verse afectada por este mismo fenómeno ya que las propiedades de flotación de los talos cambian dependiendo de las especies, por lo que algunas pueden permanecer suspendidas más tiempo y depositarse en momentos diferentes (Orr, *et al.*, 2005)

La acumulación de las macroalgas en las costas de Yucatán en la época de “Nortes” ha generado problemáticas en las comunidades costeras, como, por ejemplo, el cierre de la entrada de los puertos de abrigo a causa de su acumulación excesiva y el mal manejo que dan las autoridades a las algas. Tal es el caso de la costa de Sisal, Yucatán, al noroeste de la península de Yucatán. Sin embargo, la única documentación de estos hechos es a nivel periodístico y la literatura científica publicada sobre estos fenómenos es nula, por lo que no existe una línea base que ayude a manejarlos o a aprovecharlos de alguna manera (Ávila-Mosqueda, 2018).

2.4 Potencial de aprovechamiento de las macroalgas de arribazón

Existen diversos usos que se le pueden dar a las macroalgas de arribazón, algunos de los distintos tipos de aprovechamiento actuales más importantes que se les dan son:

1. Extracción de agar, el cual es un compuesto polisacárido que se puede extraer de diversas algas rojas denominadas “agarófitas”. El agar tiene un aspecto gelatinoso, es soluble en agua caliente (80°C-100°C) y firme a temperatura ambiente (Álvarez y Gallardo, 1989., Departamento de productos acuáticos del ministerio de agricultura de China, 1990). Es aislado y usado en diversas industrias ya que, existen tres tipos: el agar bacteriológico, agar reactivo al azúcar

(fortalece su rigidez con la adición de azúcar) y el agar de grado alimenticio. La diferencia radica en su calidad y pureza (Álvarez y Gallardo, 1989).

2. El alimento para ganado (forraje) ya que diversos estudios demuestran que emplear algas marinas como parte de la dieta de los animales domésticos, provee resultados positivos en diversos aspectos de su salud. Para su empleo suele lavarse con agua dulce, secarse y triturarse para elaborar harina junto con otros ingredientes como leguminosas y avena. Los alimentos enriquecidos con algas contienen carbohidratos, ácidos grasos, potasio, sodio, magnesio, aminoácidos, proteínas, altos contenidos de minerales como zinc, hierro, cobre y fibra que han manifestado mejorar la digestibilidad en cabras, aumentar la producción de leche en vacas, mejora la calidad los huevos de gallinas ponedoras disminuyendo los contenidos de colesterol (Meza, 1998., Carrillo, *et al.*, 2012).
3. Elaboración de biofertilizantes y compostas, con el fin de sustituir los fertilizantes sintéticos y promover o mejorar la disponibilidad de nutrientes cuando son aplicados a los cultivos (Soria-Fregoso, *et al.*, 2001., Armenta-Bojórquez, 2010., Yáñez, 2017). Esto se debe a que las macroalgas tienen propiedades bioactivas solubles en agua, sus extractos enriquecen el suelo, bioestimulan los cultivos, promueven la germinación de semillas e incrementan el rendimiento de los cultivos gracias a que poseen distintos nutrientes, vitaminas, oligoelementos y minerales traza que puede ser ampliamente aprovechados para fertilizar la tierra, prepararla para cultivo como aditivo para resistencia a plagas, patógenos y condiciones ambientales extremas o para reparación y recuperación del suelo (Senn, 1987, Bulden 1977, Skelton y Seen 1969 en Vargas, 2004, Marchiaro, *et al.*, 2013., Norrie y Keathley, 2005 en Méndez-López, 2014).
4. Producción de biocombustibles. La creación de biocombustibles a partir de algas tuvo sus orígenes usando microalgas, pero en los últimos años ha habido experimentación para crear bioetanol y biogás a partir de macroalgas., esto tiene

como finalidad alternar el uso de los combustibles fósiles y el biocombustible producido, puede ser utilizado para distintos fines, al igual que el petróleo y sus derivados, ya sea transporte, generación eléctrica o calefacción (Dufey, 2006, Salinas-Callejas y Gasca-Quezada, 2009).

5. Elaboración de papel, utilizando macroalgas como alternativa a la producción de papel convencional ya que las macroalgas tienen diversas ventajas como ser de crecimiento rápido en comparación con los árboles, carencia de lignina, ya que la lignina es la causante de su cambio de coloración con el tiempo. (López *et al.*, 2013., Mukherjee y Keshri, 2018). Además, la incorporación de algas en el proceso mejora algunas propiedades del papel como la suavidad y opacidad, buena resistencia, longitud de ruptura, resistencia al desgarro y la rigidez (Knoshaug *et al.*, 2013).

3. Antecedentes

En 2007 Sánchez-Molina y colaboradores realizaron un estudio de la zona costera de Yucatán, desde Uaymitún hasta Chuburná, encontrando una dominancia de macroalgas de la división Rhodophyta con 26 especies, seguida por Chlorophyta con 15 especies y Phaeophyceae con cuatro especies (Sánchez-Molina, *et al.*, 2007).

Ortegón-Aznar *et al.*, 2010 reportaron un total de 111 especies de macroalgas para los 10 puertos más importantes de Yucatán. De estas, 48 fueron rojas, 34 verdes y 29 cafés.

En 2016, en uno de los estudios más actualizados de diversidad de macroalgas en la zona costera de Yucatán. Mendoza-González y colaboradores reportan un total de 197 especies de macroalgas para 9 localidades, donde 103 fueron rojas, 67 verdes y 27 cafés (Mendoza-González *et al.*, 2016). Por otro lado, en 2014,

Ortegón-Aznar y Aguilar-Perera, en 2014 realizan un estudio de distribución de macroalgas en dos áreas protegidas de Yucatán, una de ellas, “El Palmar”, ubicado en el costado oeste del puerto de Sisal. En sus resultados registraron 54 especies. De estas, 26 fueron Rhodophyta, 21 Chlorophytas y 7 Phaeophyceae. De Rodophyta los géneros *Alsidium*, *Gracilaria*, *Digenea* y *Laurencia* fueron los más abundantes. De Chlorophyta, los géneros *Caulerpa*, *Halimeda*, *Udotea* y *Penicillus* fueron los más representativos y por último de Phaeophyceae las especies *Canistrocarpus cervicornis* y *Dictyopteris plagiogramma* fueron las más abundantes (Ortegón-Aznar y Aguilar-Perera, 2014).

Orvañanos en 2010 realiza la caracterización bentónica de la zona costera de Sisal. Sus resultados mostraron que las macroalgas con arena son los paisajes dominantes de la zona y no hubo diferencias significativas en cambios de cobertura entre las temporadas climáticas de secas-lluvias, pero sí, entre Nortes-secas y lluvias-Nortes. Siendo lo anterior asociado a las condiciones ambientales de las temporadas como irradiación solar, velocidad de viento, velocidad de corrientes marinas, intensidad del oleaje etc.

Dentro de estas temporadas, es secas cuando se encuentra una mayor dominancia de las algas rojas; en lluvias hay dominancia de especies verdes calcáreas y en época de Nortes hay una disminución general en las coberturas de algas que se atribuyen al cambio en las condiciones oceanográficas y meteorológicas (Orvañanos, 2010). En 2012

Rosado-Espinosa en 2012, realiza la caracterización ficológica de comunidades bentónicas y de arribazón en Dzilam de Bravo, Yucatán. Las especies dominantes en los arribazones estudiados en Dzilam de Bravo fueron la Clorophyta *Cladophoropsis macromeres*, las Rodophytas *Laurencia intricata* y *Yuzurua poiteau* y las Paeophyceae *Sargassum fluitans* y *Sargassum filipéndula* (Rosado-Espinosa, 2012).

4. Hipótesis

- La composición, características biológicas y ecológicas de los arribazones de macroalgas de la temporada de Nortes varían a lo largo de la playa de Sisal, Yucatán en función de la dinámica oceanográfica.
- Existe suficiente biomasa arribada para darle un aprovechamiento diversificado a los arribazones de macroalgas de Sisal, Yucatán.

5. Objetivo General

Caracterizar los arribazones de macroalgas en Sisal, Yucatán en la temporada de Nortes (diciembre de 2017 a marzo de 2018) y describir su potencial de aprovechamiento.

5.1 Objetivos específicos

- Determinar la composición y riqueza específica de los arribazones en la costa de Sisal.
- Cuantificar la biomasa de macroalgas.
- Determinar la distribución espacio-temporal.
- Determinar los factores oceanográficos relacionados con los arribazones.
- Describir el potencial de aprovechamiento de los arribazones de macroalgas con base en su biomasa y composición taxonómica.

6. Área de Estudio

Sisal, Yucatán se encuentra al Noroeste de la Península de Yucatán, entre las coordenadas 21°09.55"N y 90°01.50"O dentro del municipio de Hunucmá, Yucatán.

Este estudio se realizó en la playa de Sisal, al oeste del muelle y hasta el Puerto de abrigo, lo cual corresponde a 2 km lineales de los 3 km que tiene la playa de Sisal (Figura 1).

Sisal cuenta con una población de 1837 personas y su principal actividad económica es la pesca artesanal (INEGI,2010., Blancas-García, 2014). En la región se presentan tres épocas climáticas muy marcadas por cambios en las condiciones ambientales: Nortes (noviembre-febrero) en la cual los vientos predominantes son del norte, lo que aumenta el oleaje, crea condiciones de turbidez en el agua, provoca disminución de la temperatura y escasa precipitación., Secas (marzo-mayo) donde las temperaturas oscilan entre 36° a 38°C con registros de hasta 45°C, precipitaciones mínimas (0 a 30mm) y altas tasas de evaporación y lluvias (junio-octubre) donde las precipitaciones pueden llegar hasta los 125mm (Fuentes-Yaco *et al.*, 2001 en Garza-Pérez *et al.*, 2017., Zaldívar-Jiménez, 2004), De estas tres, "Nortes" es la más importante en términos de arribazón de macroalgas.

Por otro lado, el clima marítimo de la zona de Sisal también se caracteriza por tener variabilidad diaria en los patrones de oleaje, el cual por la mañana es calmado, a medio día incrementa, por las tardes alcanza su máximo y hacia el anochecer nuevamente comienza un descenso de la intensidad donde se reestablecen las condiciones de calma (López y Domínguez, 2017).

En Sisal, el viento dominante proviene del cuadrante este, con modulaciones diurnas del sureste y noreste., Durante los meses de noviembre a febrero, los vientos del este (vientos Alisios) son interrumpidos por vientos dominantes que se originan en latitudes altas, de mayor intensidad y con dirección norte. Estos vientos del norte tienen duración de unos días (3-6 días). El oleaje tiene una relación directa con el viento,

incidiendo del noreste durante todo el año, y del norte (noroeste-noreste) durante los eventos de norte.

En esta época invernal el oleaje puede alcanzar más de 2.5 m de altura durante los Nortes que por su intensidad generan oleaje y marea de tormenta (Figueroa-Espinoza, *et al.*, 2017., López y Domínguez, 2017).

Área de estudio: Sisal, Yucatán

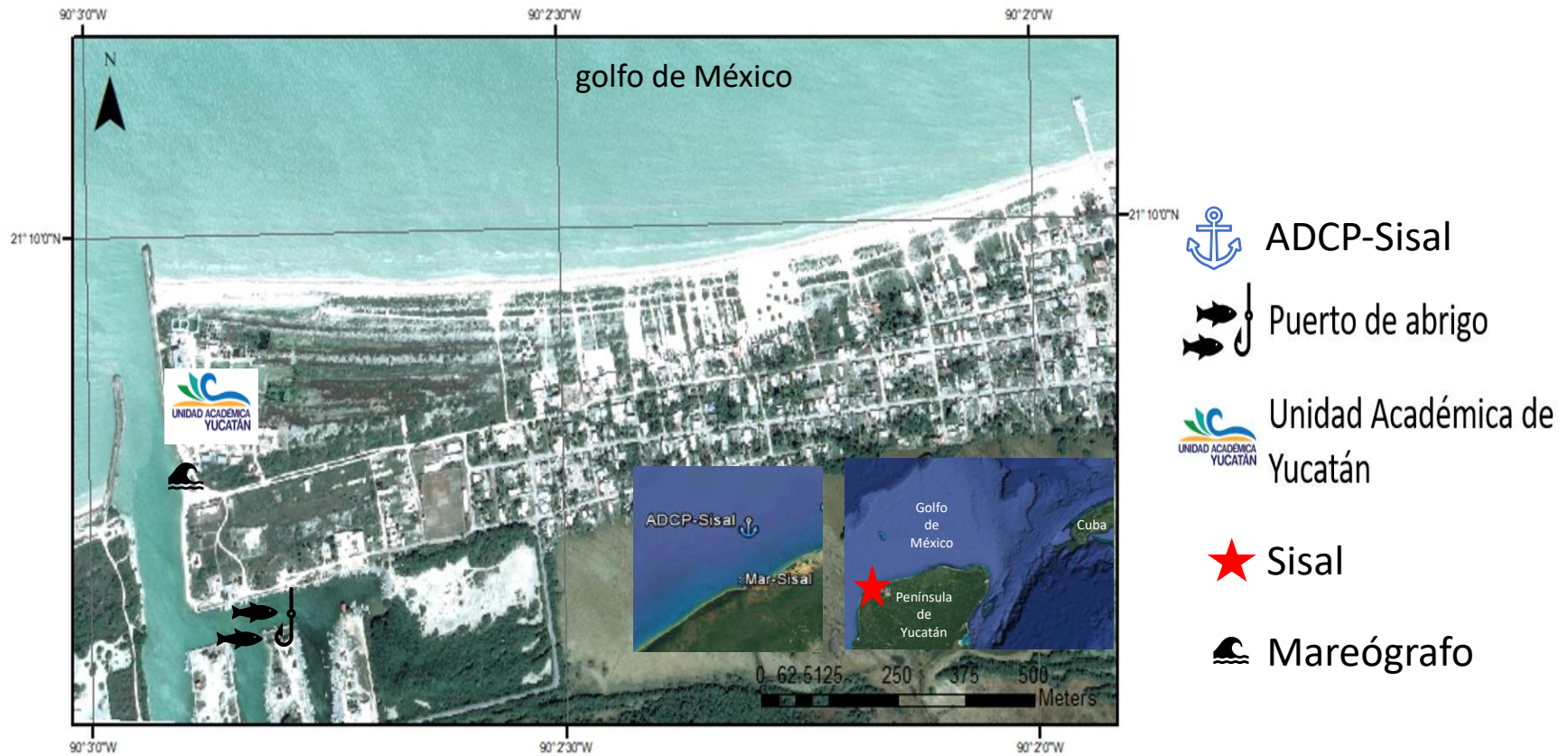


Figura 1. Área de estudio, Oeste del muelle de Sisal, Yucatán

7. Materiales y métodos

Las campañas de campo tuvieron lugar durante la temporada de Nortes del 2017-2018. Se muestreó una vez al mes durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo siguiendo el siguiente procedimiento.

Se realizó una adaptación del método de muestreo submarino de “transecto en banda” para la zona de playa propuesta por Ortegón-Aznar y colaboradores en 2011. Lo anterior consistió en colocar nueve transectos de 30m de largo, paralelos a la línea de costa (tres transectos por sitio de muestreo, 1. puerto de abrigo, 2. Pueblo, 3. Muelle) en la zona intermareal de la playa. Cada diez metros sobre el transecto se colocó un cuadrante de 25x25 cm alternándolos uno a la derecha y otro a la izquierda para realizar un total 9 unidades de muestreo por sitio. Entre cada transecto hubo una separación de 45m (Figura 2). Los muestreos se realizaron en diferentes horarios dependiendo del mes, pero el intervalo de horario varió entre la 9:00-18:00hrs, por lo que se realizaron muestreos tanto en pleamar como en bajamar.

Se colectó manualmente la biomasa húmeda de algas que se encontraba dentro del área del cuadrante y se colocaron dentro de bolsas de plástico. Cada bolsa fue etiquetada con el número de transecto, número de cuadrante y la zona de la playa.

Adicionalmente se tomaron las coordenadas geográficas de las muestras y hora de toma de muestra.

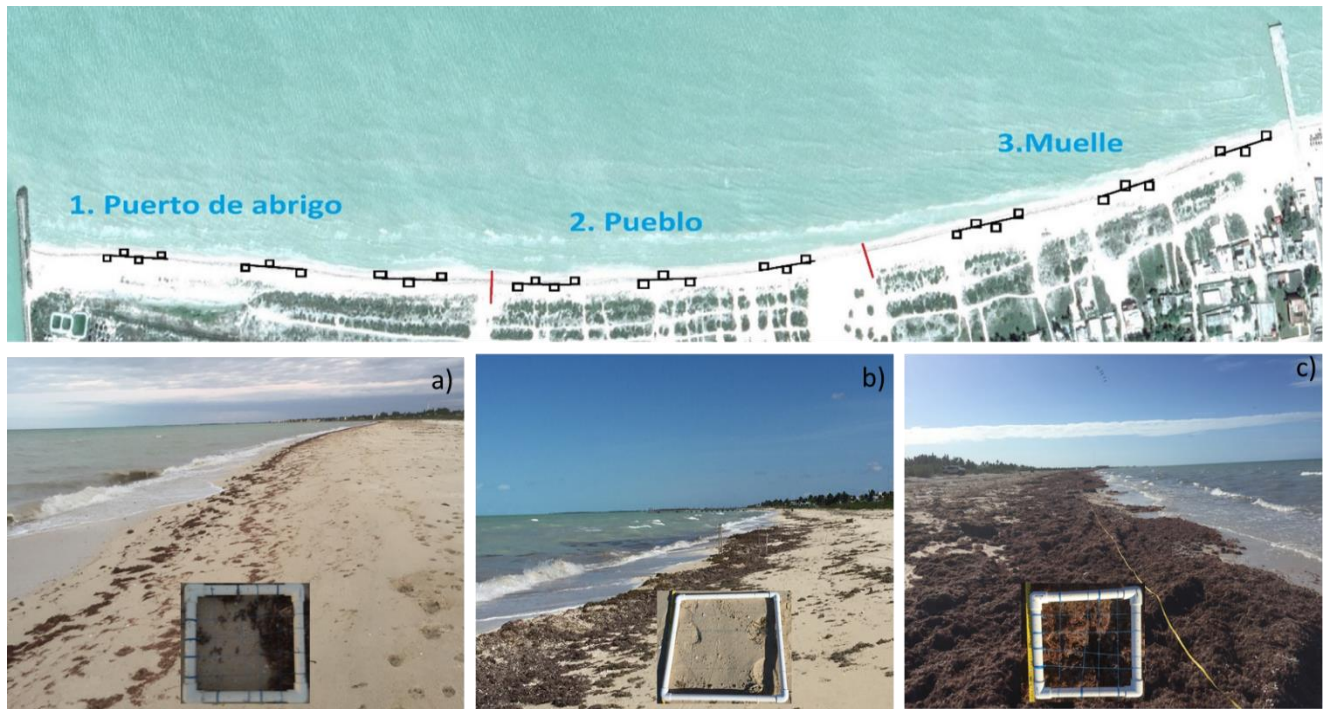


Figura 2. Diseño de muestreo en la playa de Sisal. a) Foto de la zona 1 y ejemplo de uno de los cuadrantes colectados, b) Foto zona 2 y ejemplo de uno de los cuadrantes colectados c) Foto zona 3 y ejemplo de uno de los cuadrantes colectados.

Las muestras de macroalgas se procesaron en el laboratorio de la siguiente manera: Primero se lavaron las macroalgas con agua salada para remover restos de arena y materia orgánica, una vez lavadas, se escurrieron para remover el exceso de agua, separaron y determinaron al menor grado taxonómico posible utilizando claves dicotómicas especializadas de Littler y Littler, 2000 y Suarez, *et al.*, 2015. Ya realizada la separación, se pesó la biomasa (peso húmedo) con una báscula digital y se transformó a Kg/m^2 y se determinó la especie dominante en función del peso húmedo. Lo anterior se empleó para todos los meses exceptuando el mes de febrero, donde solamente se obtuvo la biomasa húmeda, pero no las especies dominantes.

7.1 Variables oceanográficas

El Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC), Unidad Académica Sisal proporcionó datos de oleaje (altura significativa, dirección y periodo) y nivel del mar de

diciembre a marzo ya que con estos datos es posible observar el efecto de las mareas y relacionarlo con la deposición de macroalgas en la playa.

Los datos de oleaje fueron tomados con ADCP de la marca RDI colocado aproximadamente a 10km del poblado y alrededor de 8m de profundidad (Figura 1). Los datos se registraron con una frecuencia de 2Hz durante 20 min cada hora.

Los datos de nivel del mar de diciembre a marzo fueron obtenidos del mareógrafo de Sisal del Servicio Mareográfico Nacional a cargo del LIPC (<http://www.mareografico.unam.mx/portal/index.php?page=Estaciones&id=10>).

El equipo se encuentra en la entrada del puerto de abrigo de Sisal, Yucatán en las coordenadas 21°9.70' latitud norte y 90°2.90' longitud oeste (Figura 1).

7.1.2. Análisis de variables oceanográficas

Por medio de subrutinas de programación usando el software Matlab se analizaron las series de tiempo de los datos de oleaje (altura significativa, dirección y periodo) y del nivel del mar. A los gráficos que muestran las series de tiempo, se les sobrepuso el set de datos de biomasa húmeda (kg/m²) muestreada con el fin de observar si existía relación entre las condiciones oceanográficas y la biomasa obtenida a lo largo del tiempo.

7.2 Análisis estadísticos

El análisis PERMANOVA es una prueba para comparar diferencias entre muestras de dos o más grupos, es una prueba análoga no paramétrica al MANOVA. Entre las ventajas que posee es que crea su propia distribución a partir de permutaciones y a partir de estas permutaciones se obtiene la probabilidad asociada a la hipótesis nula (no existen diferencias significativas). Se calcula una F^π creada a partir de permutaciones la cual se compara contra el valor F obtenido con la ordenación original de los datos (Anderson, 2001., Hammer *et al.*, 2001., Anderson *et al.*, 2008). El P-valor entonces es calculado como:

$$P = \frac{(No. de F^\pi \geq F)}{No. total de F^\pi}$$

Por otro lado, la prueba es flexible ya que puede estar basada en cualquier medida de disimilitud o distancia, en este caso la distancia utilizada fue Bray-Curtis, recomendada para

datos biológicos de biomasa o abundancia y un número de permutaciones de 999 (Anderson *et al.*, 2008).

El método de bootstrap averages representado con n-MDS es un método gráfico el cual sirve para mostrar las diferencias encontradas mediante una prueba estadística, en este caso el ANOSIM. A partir de los datos de muestreo se realiza un re-muestreo con reemplazo (100 veces mínimo por grupo) los cuales generan medias nuevas obtenidas directamente del muestreo y que se grafican junto con la media original. Esa herramienta es sumamente eficaz para mostrar la estructura interna inherente de cada grupo en un espacio multidimensional Anderson *et al.*, 2008 (Figura 3).

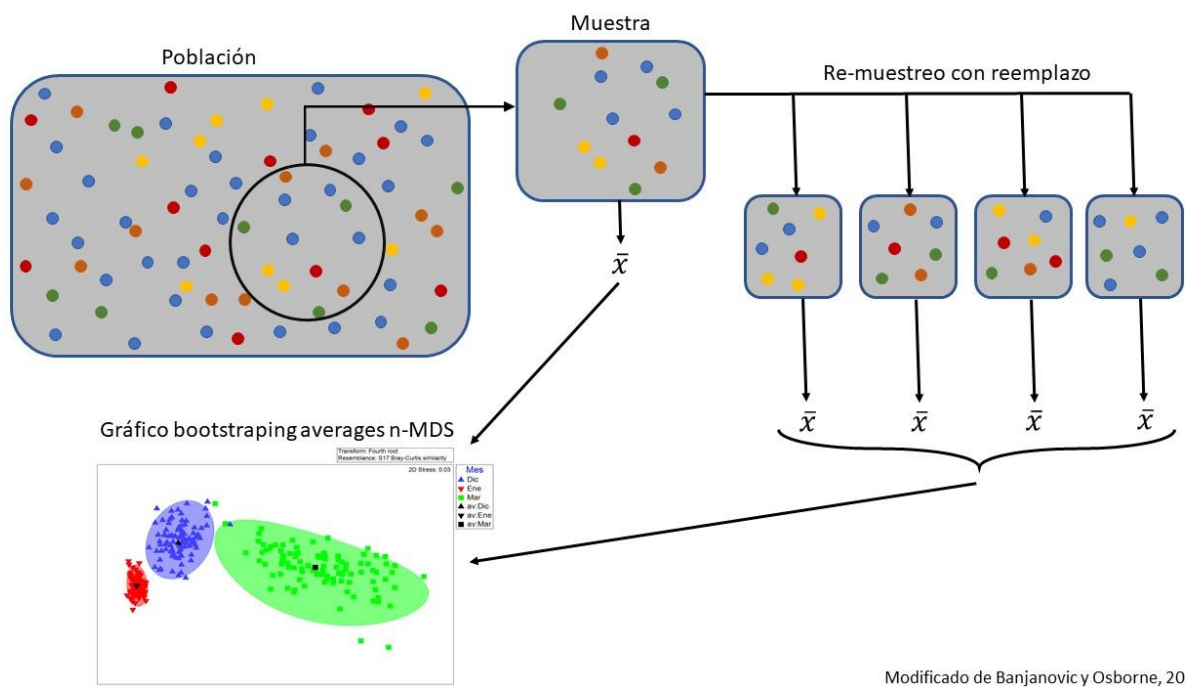


Figura 3. Simplificación del método bootstrap averages.

El MDS no paramétrico es un método gráfico que permite observar la distancia o similitud que existen entre las muestras, así como su ordenación en el espacio (Legendre y Legendre, 2012).

Para evaluar el ajuste de los datos con la representación gráfica, se emplea el ajuste de Shepard y el valor del stress el cual se calcula:

$$Stress = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_k (d_{jk} - \hat{d}_{jk})^2}{\sum_i \sum_k d_{jk}^2}}$$

Sí $d_{jk} = \hat{d}_{jk}$ para cada $\frac{n(n-1)}{2}$ distancias, entonces el Stress es cero

Dependiendo del valor que se obtenga, se puede decir que un valor <0.05 corresponde a una excelente representación, <0.10 es una buena representación, <0.20 es una representación buena, pero es importante realizar revisión de los datos, >0.20 es un gráfico con mucha distorsión y la interpretación se debe realizar con cautela y >0.3 es una muy mala configuración y se debe replantear el tipo de análisis realizado (Legendre y Legendre, 2012).

La prueba ANOSIM realiza una comparación entre las distancias que se observan entre muestras de distintos grupos (Legendre y Legendre, 2012., Clarke, 1993), El estadístico empleado para evaluar las diferencias es el siguiente:

$$R = \frac{\bar{r}_B - \bar{r}_W}{n(n-1)/4}$$

Donde: \bar{r}_B es el rango medio de todas las distancias entre grupos

\bar{r}_W es el promedio rango de todas las distancias dentro de los grupos

n es el número total de objetos.

El rango de R va de -1 a 1 donde

Una R positiva cercana a 1 significa disimilitud entre grupos

Una R = 0 significa una agrupación completamente aleatoria.

La prueba SIMPER ayuda a discriminar quién es el organismo o taxón principal responsable de dar las diferencias entre grupos. Para lograr esto, la prueba descompone la media de disimilitud de Bray-Curtis entre todos los pares de muestras en contribuciones porcentuales de cada especie, enumerando las especies en orden decreciente de dichas aportaciones (Clarke, 2006., Legendre y Legendre, 2012).

7.2.1 Biomasa húmeda

Se utilizó el software R para realizar estadística descriptiva con el objetivo de explorar los datos de biomasa (promedios, desviación estándar y gráficos de caja, correlaciones). Posteriormente dado que los datos no presentaron normalidad ni homogeneidad de varianzas y se observó una correlación cruzada entre los factores mes-sitio, se procedió a realizar una transformación de raíz cuarta para homogenizar los datos y se realizaron dos pruebas PERMANOVA de una vía con el software PRIMER 7. La primera para el factor mes y otra para el factor sitio.

7.2.2 Composición

Los datos de composición taxonómica corresponden solamente a los meses de diciembre, enero y marzo. Para evaluar si la composición taxonómica variaba entre meses, los datos se transformaron con raíz cuarta con el fin de re escalarlos ya que presentaban una alta heterogeneidad de varianza y se realizó un bootstrap averages que se graficó mediante un n-MDS, posteriormente se aplicó un análisis de similitud ANOSIM el cual se acompañó con una prueba SIMPER con el fin de encontrar diferencias de disimilitud y encontrar las especies asociadas a las diferencias.

8. RESULTADOS

8.1 Composición específica de los arribazones

Se identificaron 22 especies de macroalgas en los arribazones de Sisal 11 Rhodophyta, siete Chlorophyta y tres Phaeophyceae (Heterokontophyta) (Tabla 1). De éstas, ocho fueron las que conformaron la mayor biomasa en los arribazones, mientras que todas las demás solamente fueron especies de acompañamiento, es decir solo llegaron algunos ejemplares y fragmentos. Es importante destacar que algunas especies, por la dificultad de identificación a nivel macroscópico y la poca abundancia, se consideraron a escala de grupos algales y géneros. Los grupos algales fueron las rojas corticadas y rojas filamentosas, formados por especies como *Laurencia* sp., *Hypnea* sp, *Ceramium* sp. etc. Y el grupo de las rojas calcáreas formados por especies de *Jania* sp. y *Amphiroa* sp. Mientras que los géneros que se pudieron trabajar por separado fueron *Digenea* sp. y *Sargassum* sp. Las únicas especies que se pudieron separar a nivel de especie por presentar características distintivas evidentes y claras, que presentaban suficiente biomasa fueron: *Alsidium seaforthii* y *Alsidium triquetrum*.

Tabla 1. Especies presentes en los arribazones de Sisal, Yucatán, época de Nortes 2017-2018.

RHODOPHYTA
<i>Alsidium seaforthii</i>
<i>Alsidium triqueturm</i>
<i>Jania</i> sp.
<i>Laurencia</i> sp.
<i>Gracilaria</i> sp.
<i>Digenia</i> sp.
<i>Halymenia</i> sp.
<i>Ceramium</i> sp.
<i>Hypnea</i> sp.
<i>Eucheuma</i> sp.
<i>Osmundaria obtusiloba</i>
CHLOROPHYTA
<i>Caulerpa racemosa</i>
<i>Caulerpa ashmeadii</i>
<i>Penicillus</i> sp.
<i>Halimeda incrassata</i>
<i>Halimeda opuntia</i>
<i>Udotea</i> sp.
<i>Caulerpa prolifera</i>
HETEROKONTOPHYTA
<i>Dyctiopteris polypodioides.</i>
<i>Sargassum</i> sp.
<i>Padina</i> sp.

8.2 Variación mensual de la biomasa

8.2.1 Variación mensual de especies y grupos algales con base en la biomasa

Las especies presentaron proporciones de biomasa muy variables a lo largo de los meses, a pesar de esto, se logró observar que en el mes de enero los grupos presentaron una biomasa más alta y en marzo la más baja, con excepción de *Alsidium seaforthii* (Figura 4).

Alsidium seaforthii fue la especie que mantiene sus proporciones de biomasa relativa más homogéneas a lo largo de los meses, 44% en diciembre, 40% en enero y 34% en marzo y la que mayor biomasa (peso húmedo) por metro cuadrado obtuvo con 2.25kg/m² en diciembre, 9.41 kg/m² en enero y 0.10kg/m² en marzo.

En el mes de diciembre se observó un alto aporte de *Sargassum* sp. con 1.94kg/m² el cual decayó para el mes de enero con 0kg/m² y solamente 0.11kg/m² en marzo (Figura 4).

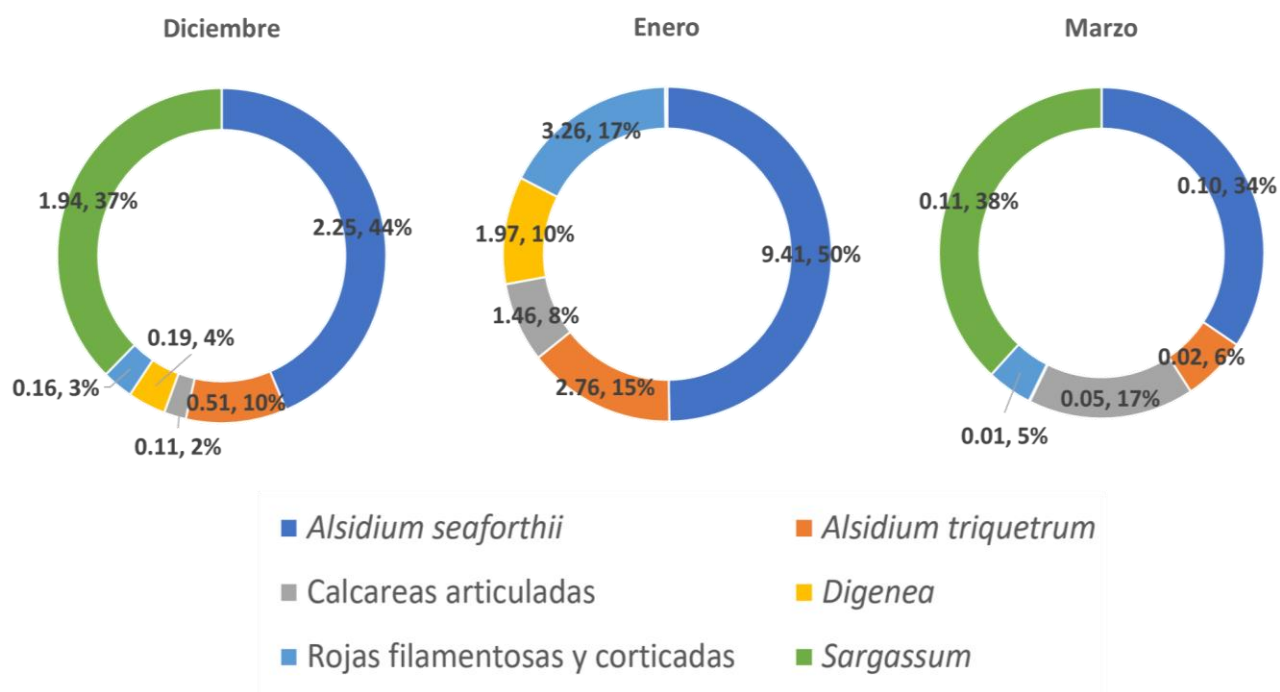


Figura 4. Proporción de la biomasa de especies y grupos algales de los arribazones durante los meses de muestreo, se presenta su valor en kg/m² y su porcentaje respecto al total.

El análisis de similitud (ANOSIM), usando distancia de similaridad, muestra que existen diferencias significativas de carácter global a lo largo del tiempo ($R=0.464$, $p=0.1\%$). Lo anterior se refleja de forma espacial mediante el gráfico nMDS realizado con bootstrap con remplazo en el cual los tres meses se observan separados y sin cruzamientos (Tabla 4, figura 7).

El análisis por pares demuestra que existen diferencias significativas de composición entre todos los grupos, diciembre contra enero ($R= 0.301$, $p=0.8\%$), diciembre contra marzo ($R=0.241$, $p=1.7\%$) y enero y marzo ($R=0.719$, $p=0.1\%$) (Tabla 1), las cuales son atribuidas a *Alsidium seaforthii*, *Sargassum* sp. y *Alsisium triquetrum* (Figura 8).

Tabla 2. ANOSIM, comparación de la composición entre meses

Grupos	R significativa	Nivel de significancia	Permutaciones posibles	Permutaciones realizadas	Numero => observado
1, 2	0.301	0.8	52451256	999	7
1, 3	0.241	1.7	24310	999	16
2, 3	0.719	0.1	52451256	999	0

Non-metric MDS

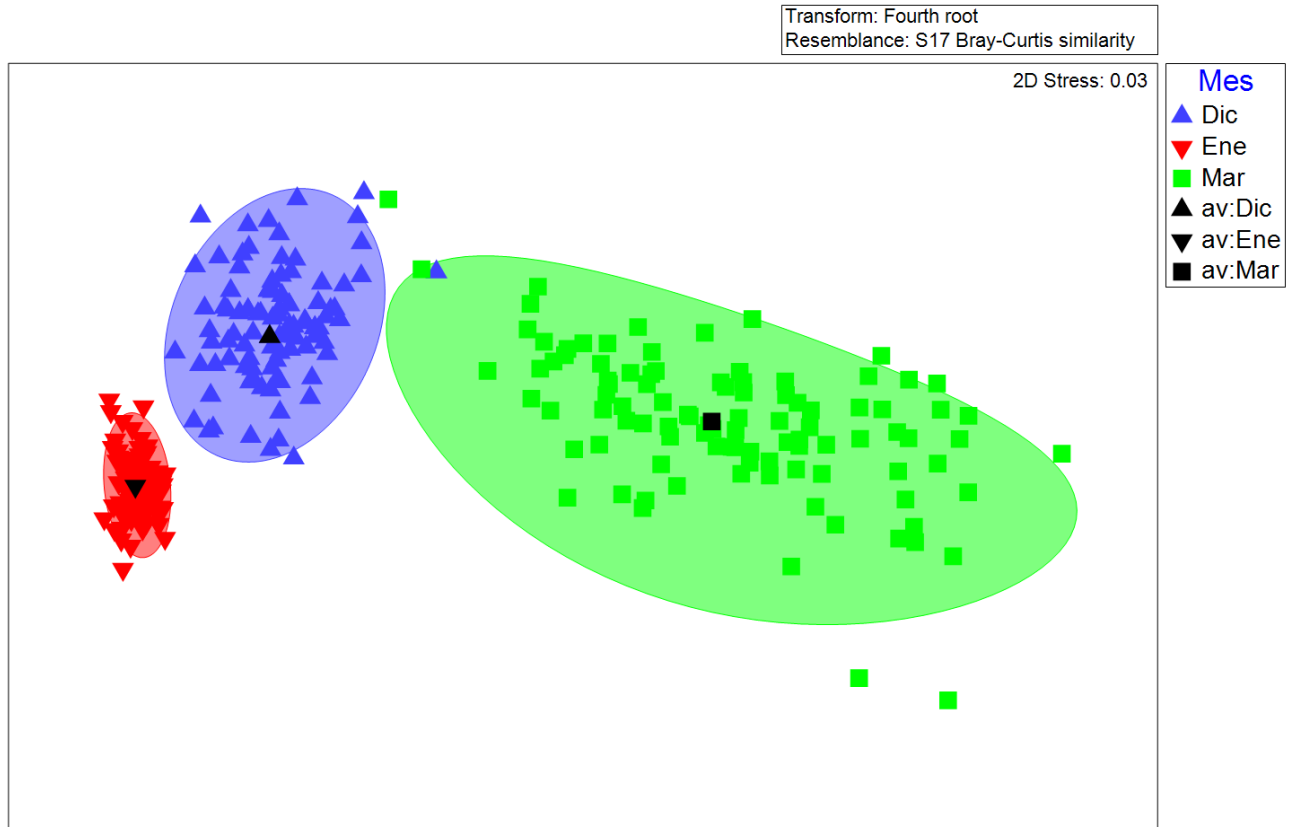


Figura 5. Bootstrap con reemplazo de disposición de especies y grupos algales a lo largo de los meses de muestreo.

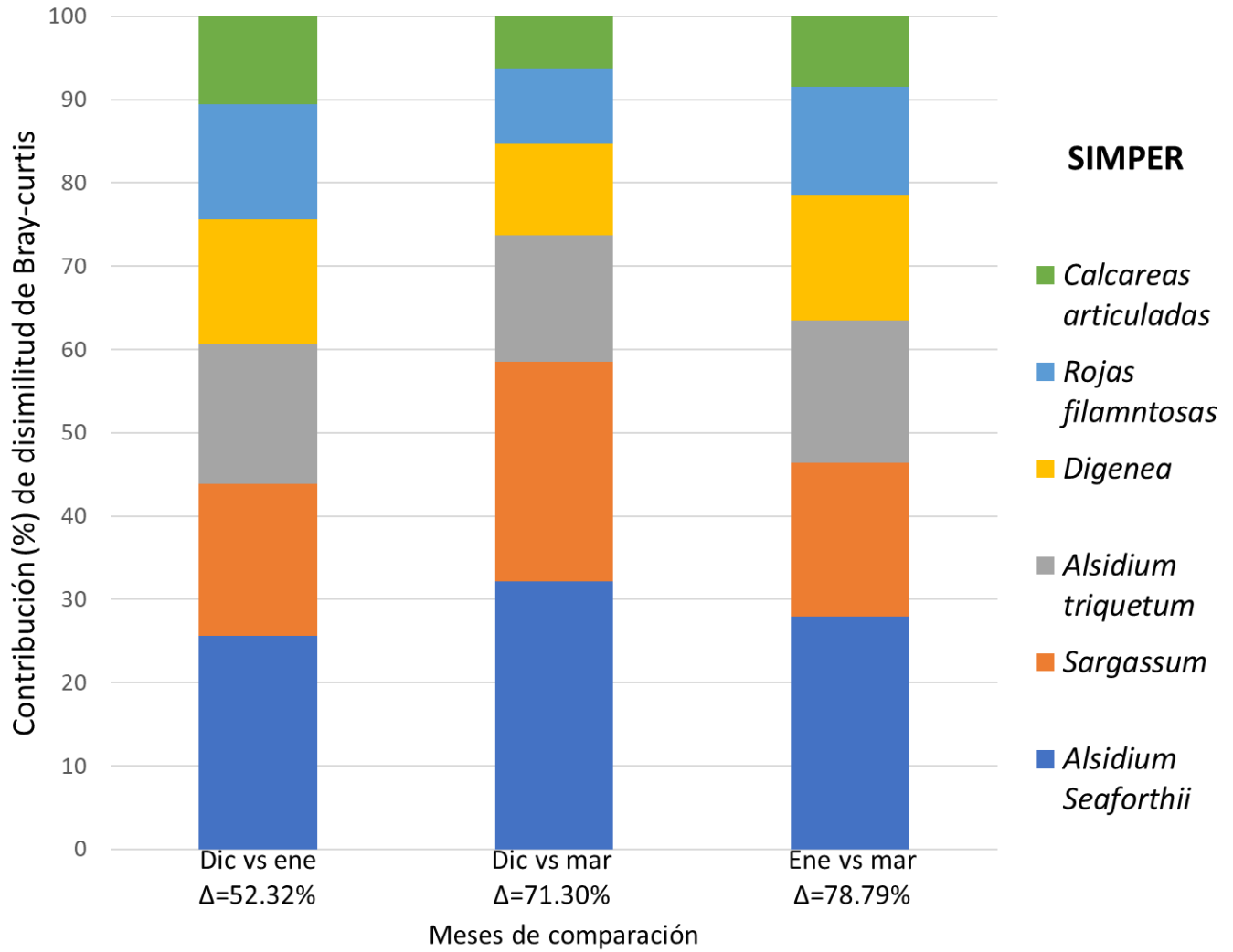


Figura 6. Análisis de porcentaje de similitud entre meses de especies-formas encontradas en columna apilada.

8.2.2 Variación temporal de la biomasa de arribazón

La biomasa del arribazón muestra un marcado comportamiento creciente desde el mes de diciembre donde en promedio se encuentran $2.27\text{kg/m}^2 \pm 5.22\text{ kg/m}^2$ hasta el mes de febrero donde encontramos la biomasa promedio más alta de $78.88\text{ kg/m}^2 \pm 58.32\text{ kg/m}^2$. Posteriormente para el mes de marzo el arribazón disminuye sustancialmente con tan solo $0.30\text{kg/m}^2 \pm 0.54\text{ kg/m}^2$ promedio (Figura 5).

La prueba PERMANOVA arroja que existe diferencia significativa entre meses ($F=8.5063, P=0.001$) (Tabla 2).

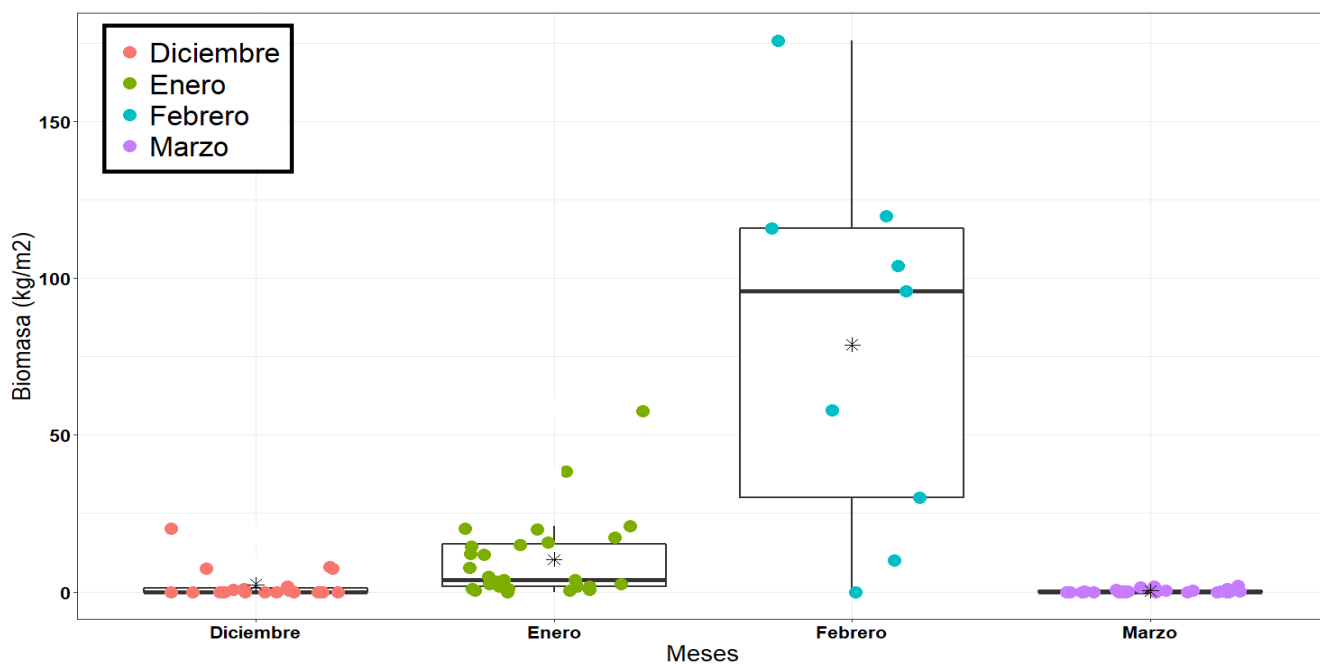


Figura 7. Variación de la biomasa mensual.

Tabla 3. PERMANOVA de una vía para comparación entre meses

Fuente	Grados de libertad	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Permutaciones
Mes	3	6670	2223.3	8.5063	0.001	999
Res	28	7318.5	261.38			
Total	31	13989				

8.2.3 Variación espacial de la biomasa

La biomasa por sitio también presenta un comportamiento variable dependiendo de la zona, siendo la zona del muelle donde mayor biomasa promedio se encuentra con $22.06 \text{ kg/m}^2 \pm 36.85 \text{ kg/m}^2$, seguido de la zona del pueblo con $17.11 \text{ kg/m}^2 \pm 38.93 \text{ kg/m}^2$ y por último la zona del Puerto de abrigo con $1.97 \text{ kg/m}^2 \pm 5.56 \text{ kg/m}^2$. (Figura 6). La prueba PERMANOVA arroja que existen diferencias significativas de biomasa entre los tres sitios ($F= 3.3936$, $P=0.033$) (Tabla 3).

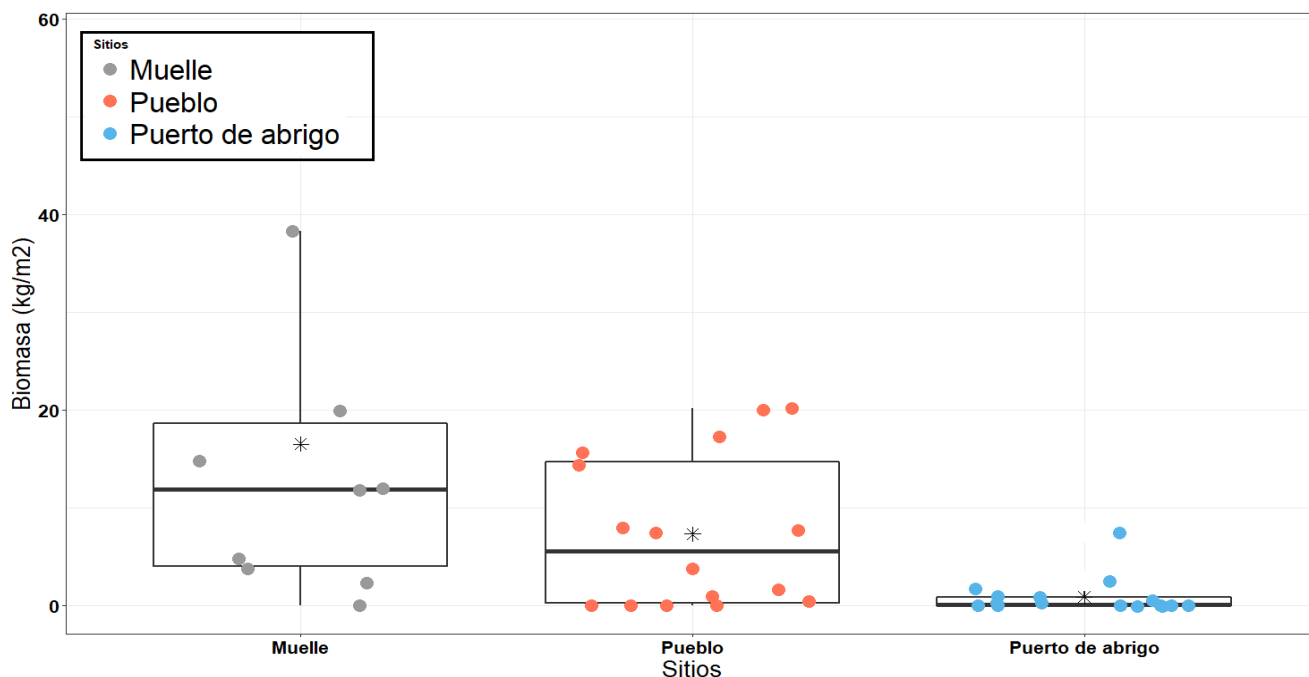


Figura 8. Variación mensual de la biomasa de arribazón por sitio

Tabla 4. PERMANOVA de una vía para comparación entre sitios

Fuente de variación	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Permutaciones
sitio	2	2653	1326.5	3.3936	0.033	999
Res	29	11336	390.88			
Total	31	13989				

8.3 Condiciones oceanográficas imperantes

Los datos del nivel del mar reflejaron claramente las oscilaciones de marea y su modulación entre mareas vivas y muertas. Durante los meses de muestreo se observó que en las mareas muertas existió una tendencia semidiurna (dos pleamares y dos bajamares por día) mientras que en las mareas vivas la tendencia fue diurna (una pleamar y una bajamar al día).

Los muestreos de diciembre y enero se realizaron durante momentos de transición de mareas vivas a muertas mientras que en febrero durante eventos de mareas muertas y marzo en mareas vivas.

La biomasa más alta recolectada, se presentó en el mes de febrero durante la transición de mareas vivas a muertas y la biomasa más baja durante las mareas vivas en marzo (Figura 9).

La marea en la zona costera de Sisal Yucatán tiene rangos de amplitud de centímetros, se observaron algunas oscilaciones de mayor amplitud que pudieron estar asociados a eventos meteorológicos como “Nortes” (Figura 9 y 15).

Durante los meses de muestreo, la amplitud promedio fue de 0.52 ± 0.23 m. En diciembre la amplitud tuvo un promedio de 0.57 ± 0.25 m, durante el mes de enero de 0.55 ± 0.25 m, en febrero de 0.51 ± 0.21 m y marzo de 0.49 ± 0.19 m (Figura 9).

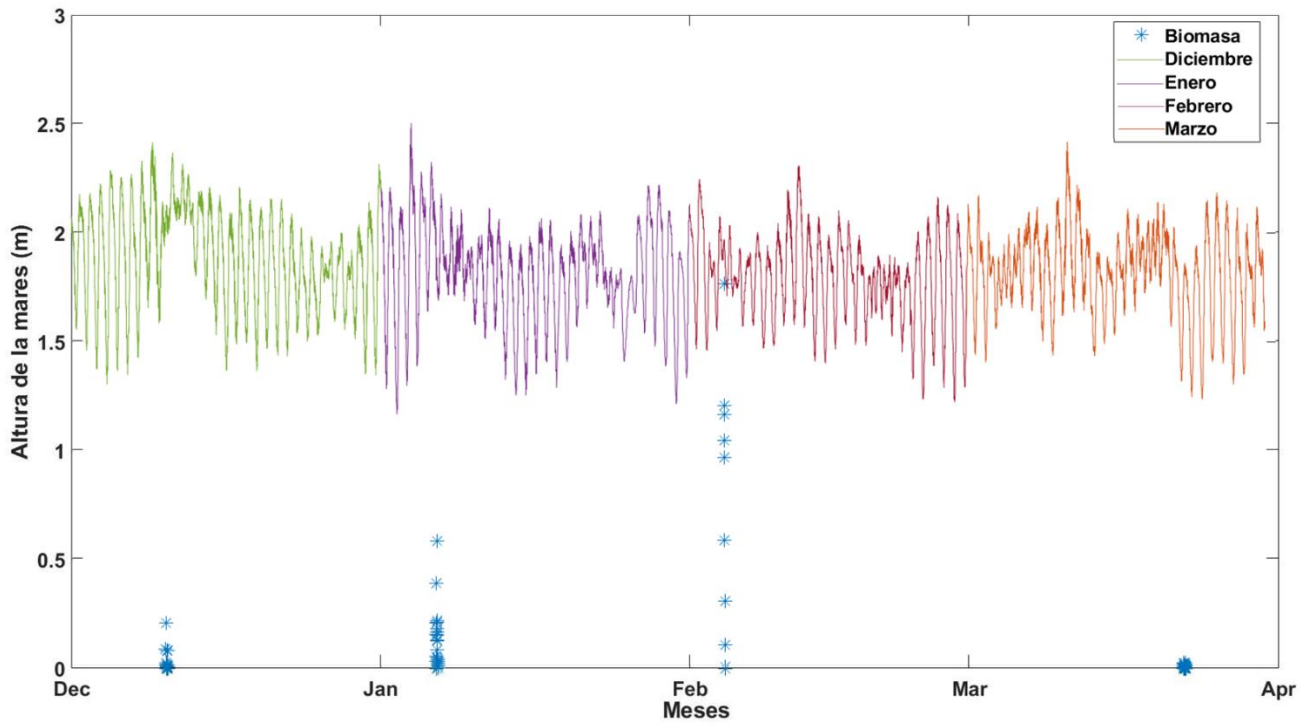


Figura 9. Serie de tiempo de las variaciones del nivel del mar durante el período de los muestreos. Las estrellas muestran la biomasa arribada a la playa en cada mes (kg/m^2).

El muestreo de diciembre se comenzó durante la primera pleamar de día, y se culminó al comenzar la segunda pleamar. El nivel medio del mar registrado en este muestreo fue el más alto de todos y el que menor variación tuvo. El promedio registrado fue de 2.06 ± 0.029 m. La biomasa encontrada a lo largo del muestreo no muestra una relación directa con las oscilaciones de marea (Figura 10).

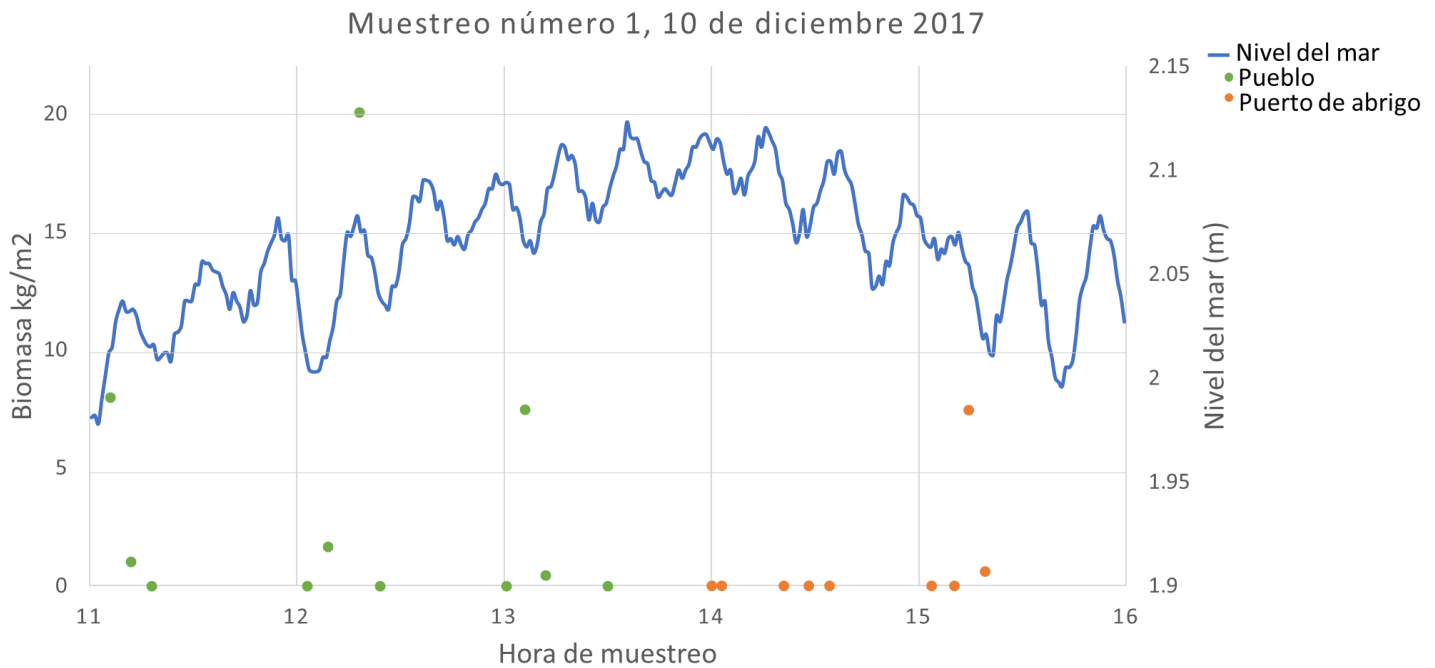


Figura 10. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 1 y resultados de la biomasa arribada. Mostrados con los puntos de colores y cuantificados con la escala izquierda de la figura en cada uno de los sitios de muestreo del pueblo y puerto de abrigo. La figura muestra las variaciones del nivel del mar durante las horas del muestreo, cuantificadas con la escala derecha de la figura.

El muestreo de enero comenzó en pleamar y terminó en bajamar, el nivel del mar promedio del día fue de 1.99 ± 0.18 . Se observa claramente como el nivel del mar disminuye de 1.95m a las 13:00hrs hasta 1.7m a las 19:00hrs. Este fue el muestreo que tuvo la disminución más notable en términos marea (25cm aprox en 6 hrs).

Se observa que la biomasa de algas encontradas tiene una variación más alta en la zona del muelle y una menor en la zona del puerto de abrigo, la tendencia de este día parece mostrar que la biomasa disminuyó conforme a la marea, las horas de muestreo (de 13:00 a 19:00hrs) y con respecto al sitio (muelle hasta el puerto de abrigo) (Figura 11).

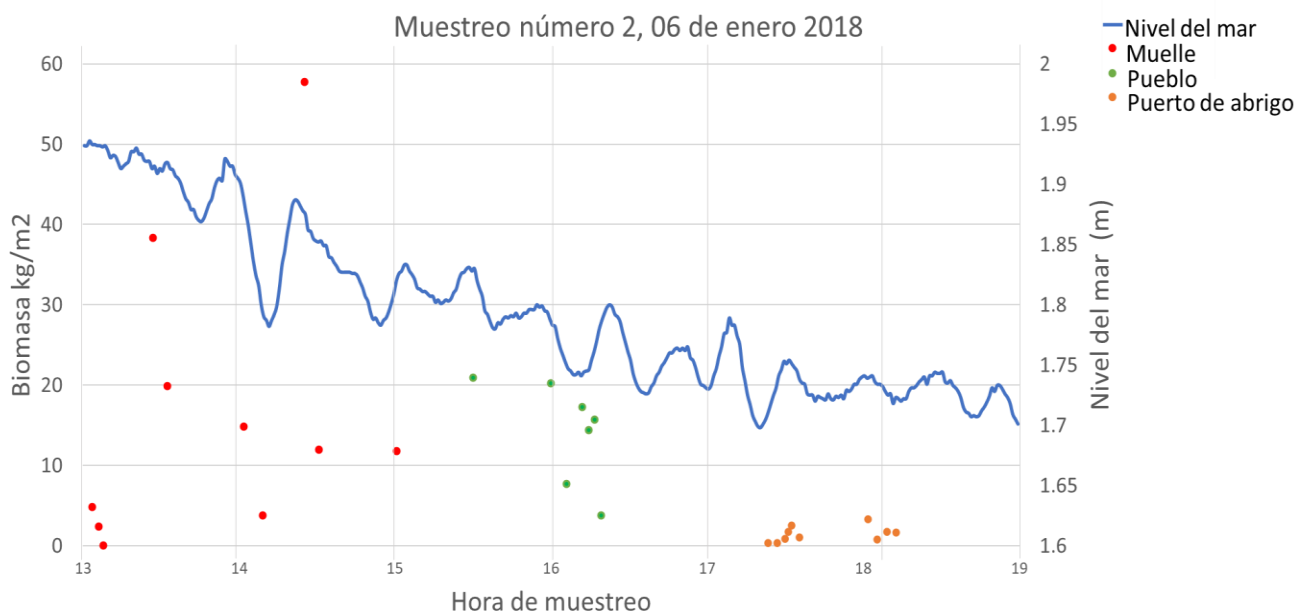


Figura 11. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 2 y resultados de la biomasa arribada en cada uno de los sitios de muestreo desde el muelle hasta el puerto de abrigo. Mostrados con los puntos de colores y cuantificados con la escala izquierda de la figura. En cada uno de los sitios de muestreo del muelle, pueblo y puerto de abrigo. La figura muestra las variaciones del nivel del mar durante las horas del muestreo, cuantificadas la escala derecha de la figura.

El muestreo de febrero fue el de menor duración (1 hora y media) pero en donde se registró mayor biomasa. Se llevó a cabo en pleamar y el nivel del mar se mantuvo alrededor de 1.95m. Se observa una mayor biomasa recolectada en la zona del muelle y pueblo entre las 10:00 y 10:30am y una menor biomasa en la zona del puerto de abrigo entre las 11:00 y 11:30am. El promedio del nivel medio del mar en el día fue de 1.78 ± 0.19 m. No se observa un patrón claro en cuanto a la biomasa recolectada y el nivel del mar (Figura 12).

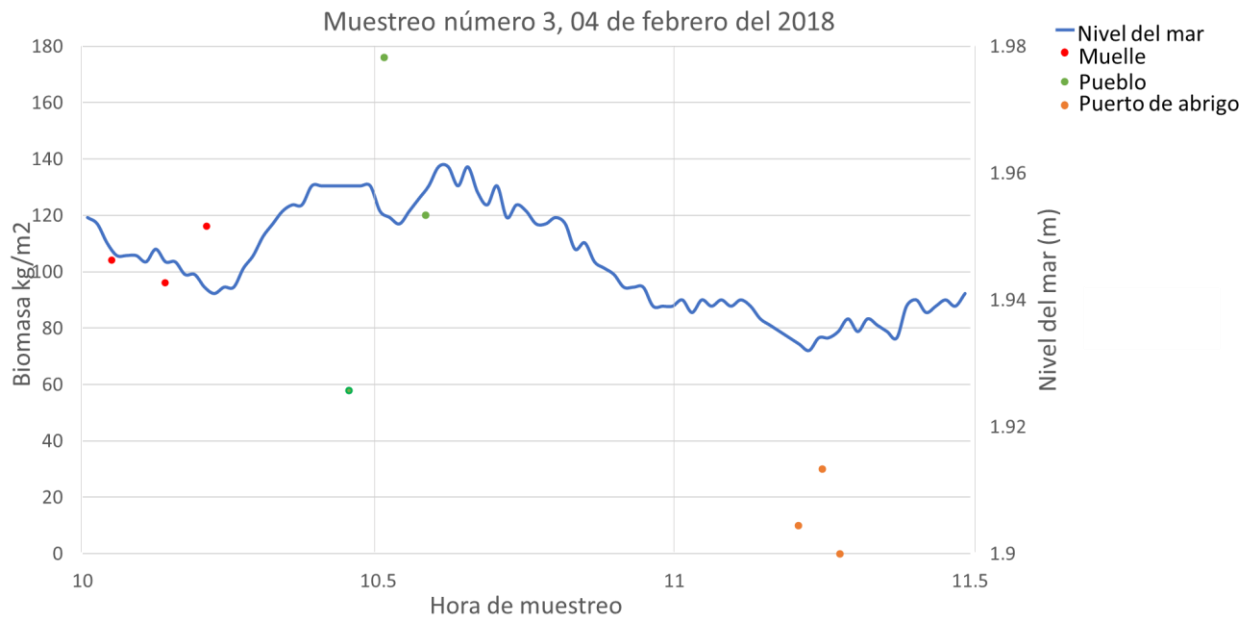


Figura 12. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 3 y resultados de la biomasa arribada en cada uno de los sitios de muestreo desde el muelle hasta el puerto de abrigo. Mostrados con los puntos de colores y cuantificados con la escala izquierda de la figura. En cada uno de los sitios de muestreo del muelle, pueblo y puerto de abrigo. La figura muestra las variaciones del nivel del mar durante las horas del muestreo, cuantificadas la escala derecha de la figura.

El nivel medio del mar del muestreo de marzo tuvo en promedio 1.63 ± 0.17 m. El muestreo se llevó a cabo en un periodo de bajamar (10:00 am) y culminó en pleamar (16:00hrs). Se observa claramente cómo el nivel del mar sube 30cm aproximadamente en seis horas. La biomasa encontrada en este muestro fue la más baja y no se observa

una relación directa entre cantidad de biomasa arribada y el incremento de la marea a pesar de que fue en este día donde se registró el aumento más notable del nivel del mar (Figura 13).

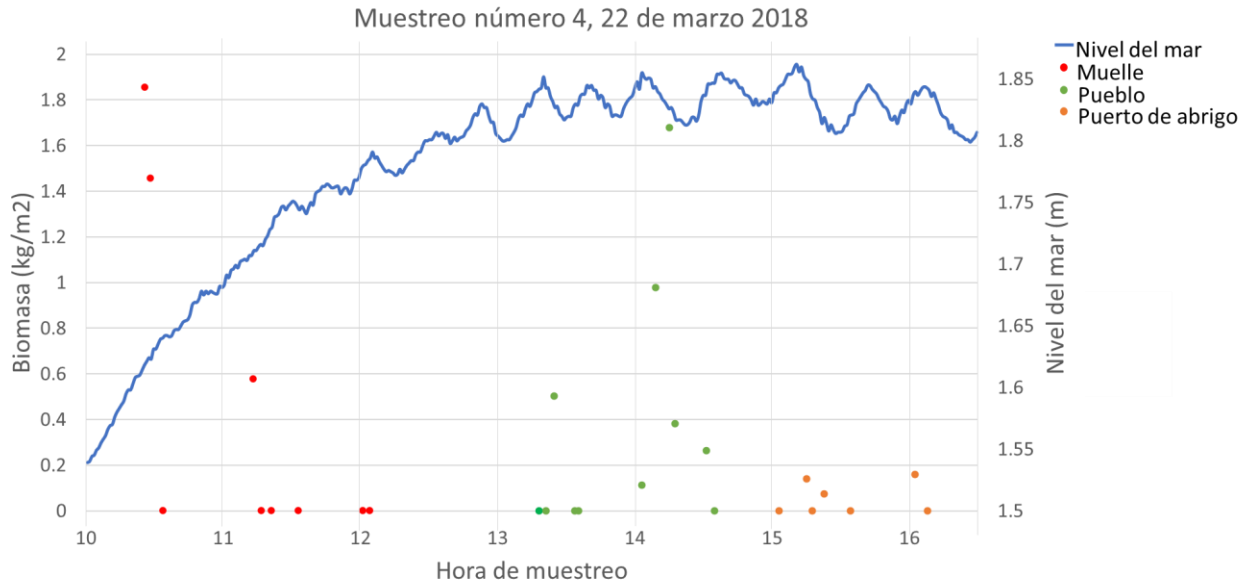


Figura 13. Serie de tiempo de las horas del muestreo número 3 y resultados de la biomasa arribada en cada uno de los sitios de muestreo desde el muelle hasta el puerto de abrigo. Mostrados con los puntos de colores y cuantificados con la escala izquierda de la figura. En cada uno de los sitios de muestreo del muelle, pueblo y puerto de abrigo. La figura muestra las variaciones del nivel del mar durante las horas del muestreo, cuantificadas la escala derecha de la figura.

En términos generales, los resultados de este trabajo muestran que la marea es un factor que propicia la exposición de las macroalgas en la zona intermareal. Durante los periodos de pleamar, las macroalgas tienden a suspenderse en el agua y flotar durante algunas horas. Conforme la marea va disminuyendo hasta llegar a condiciones de bajamar, las macroalgas se depositan en la arena (Figura 14). Sin embargo, no se demuestra que exista una relación directa entre la cantidad de biomasa arribada con los cambios de marea.

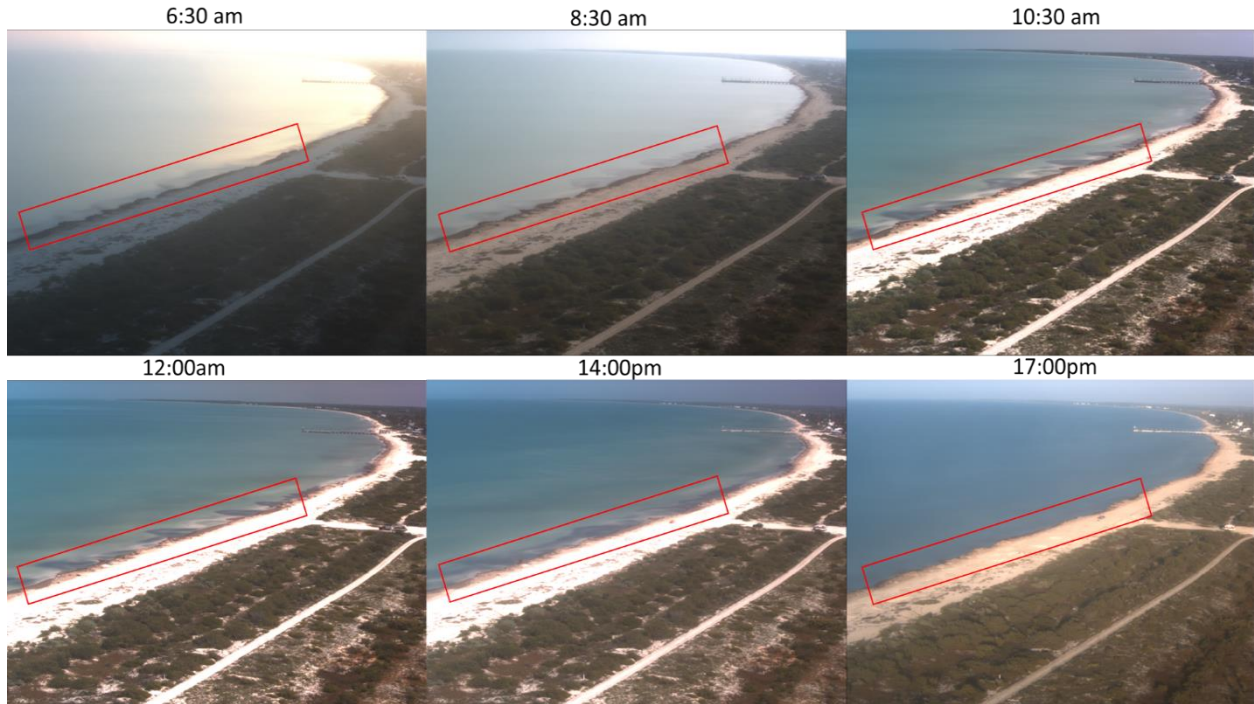


Figura 14. Imágenes tomadas del observatorio costero de Sisal 1ro de febrero del 2018: <http://tepeu.sisal.unam.mx/video-sisal/images.jsp?site=sisal&fecha=02/10/2020&opt=2> Se observa el arribazón de macroalgas en la zona intermareal y como a lo largo del día este pasa de condiciones de suspensión en el agua a deposición en la arena.

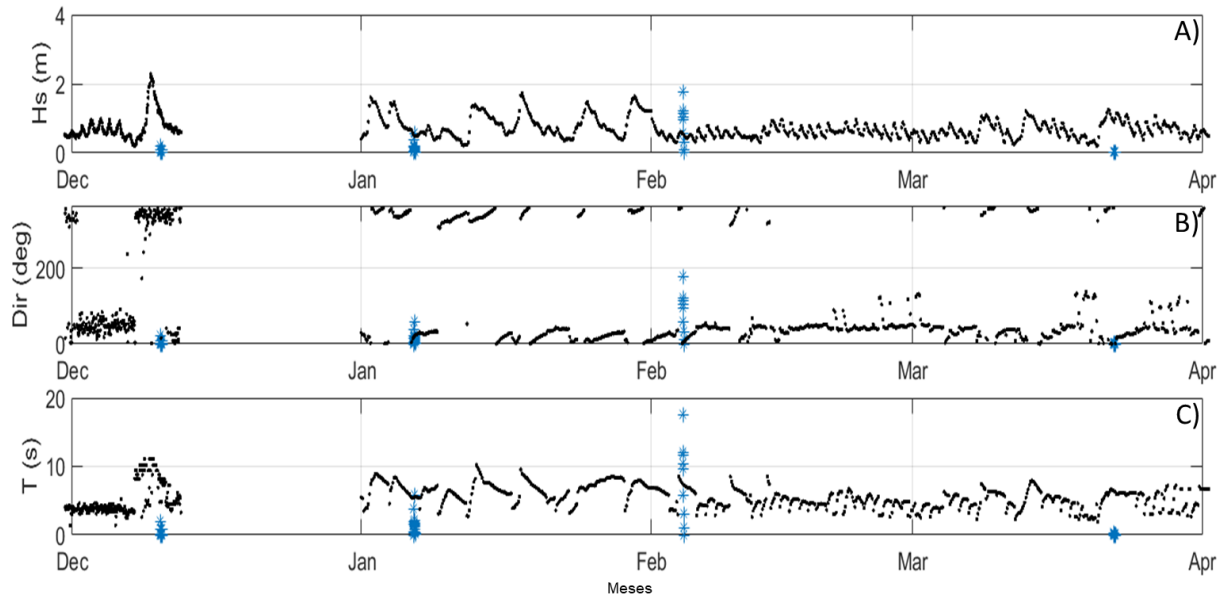
En cuanto a las condiciones de oleaje, durante los meses de muestreo la altura significativa (H_s) varió de 0.2 a 2.29 m y tuvo un promedio de 0.72 ± 0.32 m con una dirección predominante del Noreste. El periodo (T) mínimo de las olas fue de 1s, el máximo de 12 s y el promedio fue de 6 ± 3 s. Las condiciones de oleaje tuvieron un comportamiento muy variable; en diciembre se presentó un evento de Norte durante el periodo de muestreo; en enero se observó un oleaje proveniente tanto del norte como del noroeste, en febrero primordialmente oleaje del norte y en marzo predominantemente oleaje del nor-noreste (Figura 15). Tanto la H_s como el periodo aumentaron significativamente ($H_{s_{\bar{x}ene}} = 0.85\text{m}$, $T_{\bar{x}ene} = 6.61\text{s}$) a principios de enero para posteriormente en febrero y marzo pasar a condiciones de relativa calma ($H_{s_{\bar{x}feb}} = 0.59\text{m}$, $T_{\bar{x}feb} = 5.08\text{s}$ y $H_{s_{\bar{x}mar}} = 0.66\text{m}$, $T_{\bar{x}mar} = 4.89\text{s}$) (Figura 15 A y C).

En el mes de diciembre solamente se pudieron obtener datos de oleaje desde el día 1o hasta el día 12. Durante estos días la Hs del oleaje varió entre 0.2 - 2.29m, y obtuvo un promedio de 0.76 ± 0.41 m. La dirección predominante fue del noreste (15 A y B). El periodo de las olas varió entre 1.40 - 11.1 s con un promedio de 5.22 ± 2.40 s (15 C). Se observó un aumento sustancial de la altura, periodo y dirección durante el muestreo de este mes (Figura 15).

En enero, la Hs varió entre 0.21-1.72m con un promedio de 0.84 ± 0.36 m, la dirección predominante fue de Noreste (15 A y B). El periodo de las olas varió entre 2.69-10.24s y tuvo un promedio de 6.61 ± 1.48 s (15 C). Tanto la Hs como el periodo tuvieron valores altos y relativamente constantes desde principios del enero y esta tendencia se mantuvo durante todo el mes. Además, a pesar de que la predominancia del viento fue del noreste, durante varios días se observaron valores de viento provenientes del norte y noroeste (Figura 15).

A partir del mes de febrero se observaron condiciones de relativa calma en comparación con enero. En febrero la Hs varía entre 0.3 - 1.2 m, con un promedio de 0.59 ± 0.15 m. La dirección predominante fue del noreste (15 A y B). El periodo de las olas a partir de este mes decreció, y varió entre 2.59 - 8.53 s con un promedio de 5.07 ± 1.24 s (Figura 15 C).

Durante marzo, el último mes de muestreo, prevalecieron las condiciones de relativa calma en el mar. La Hs se mantiene y varía entre 0.2 - 1.2m, con un promedio



de 0.66 ± 0.23 . La dirección predominante también se mantuvo, siendo esta del noreste y unos cuantos días con vientos provenientes del norte y noroeste (15 A y C). El periodo de las olas disminuyó un poco variando entre 1.95 - 7.92 s con un promedio de 4.89 ± 1.40 s (Figura 15 C).

Figura 15. Serie de tiempo de las condiciones de oleaje (A) altura significativa, B) dirección y C) período) durante los muestreos. Los resultados de biomasa arribada se grafican en cruces azules para cada uno de los muestreos.

Los datos de oleaje mostraron una relación clara con los datos de biomasa arribada. Se observó claramente que después de un periodo de una duración de oleaje intenso proveniente del norte y noroeste la biomasa aumentó considerablemente, siendo el mes de febrero donde se encontró una cantidad mayor de macroalgas en la playa. Después, en marzo, se aparecieron condiciones de relativa calma y la biomasa encontrada en la playa decreció significativamente (Figura 15).

8.4 Potencial de aprovechamiento

En cuanto al potencial de aprovechamiento, las macroalgas de arribazón de Sisal pueden emplearse como materia prima para aprovechamiento sustentable (Tabla 5) por la diversidad de especies y su abundancia. Hay y Norris, (1984) determinan que la abundancia mínima necesaria para utilizar macroalgas de manera comercial es de 2 kg/m², que en este estudio fue mayor en el mes de diciembre, donde en promedio se encontraron 2.33 kg/m² de biomasa húmeda, tendiendo a aumentar hasta febrero donde la biomasa promedio fue de 78.88 kg/m².

Tabla 5. Usos descritos de las macroalgas dominantes de los arribazones de Sisal, Yucatán.

Especie	Uso potencial	Referencia
RHODOPHYTA		
<i>Alsidium seaforthii</i>	<p>Alimenticias: Sopas y jaleas.</p> <p>Biotecnológico: Productora de agar.</p> <p>Medicinal: Acción anticancerígena, antiviral, antiinflamatoria, antibacteriana.</p> <p>Industria Agrícola: Compostas y biofertilizantes.</p>	<p>Fallarero, <i>et al.</i>, 2006.</p> <p>Oliveira, <i>et al.</i>, 2008.</p> <p>Moo-Puc, <i>et al.</i>, 2008.</p> <p>Cavalcante-Silva <i>et al.</i>, 2012.</p> <p>Pereira, 2018.</p> <p>Vargas, 2004.</p> <p>Zubia, <i>et al.</i>, 2007.</p>
<i>Alsidium triqueturm</i>	<p>Medicinal: Acción anticancerígena, antiinflamatoria y analgésica</p> <p>Biotecnológico: Productora de agar.</p>	<p>Fallarero, <i>et al.</i>, 2006.</p> <p>Oliveira, <i>et al.</i>, 2008.</p> <p>Moo-Puc, <i>et al.</i>, 2008.</p> <p>Cavalcante-Silva <i>et al.</i>, 2012.</p> <p>Pereira, 2018.</p> <p>Vargas, 2004.</p> <p>Zubia, <i>et al.</i>, 2007.</p>
<i>Digenea sp.</i>	<p>Alimenticia: Cocida.</p> <p>Biotecnológico: Productora de agar.</p> <p>Medicinal: Acción antibacterial, antiinflamatoria, nociceptiva, antihelmínticas/desparasitante.</p>	<p>Huerta-Muzquiz <i>et al.</i>, 1987 en Robledo y Freile-Pelegrín, 1998.</p> <p>Pereira, 2018.</p> <p>Pereira, <i>et al.</i>, 2014.</p> <p>Valle <i>et al.</i>, 2008.</p> <p>Vargas, 2004.</p>
HETEROKONTOPHYTA		
<i>Sargassum sp.</i>	<p>Alimenticia: Secas o fresca en sopas y salsas.</p> <p>Biotecnológico: Biocombustible.</p> <p>Industria Agrícola: Compostas y biofertilizantes.</p> <p>Medicinal: Efectos antiproliferativos de células cancerígenas de cérvix, próstata e hígado.</p>	<p>Dereckman y Senties, 2013.</p> <p>Freile-Pelegrín, 1997.</p> <p>Huerta-Muzquiz <i>et al.</i>, 1987 en Robledo y Freile-Pelegrín, 1998.</p> <p>Pereira, 2018.</p> <p>Rodríguez-Martínez, 2016.</p> <p>Rosado-Espinoza, 2012</p> <p>Vargas, 2004.</p> <p>Zubia, <i>et al.</i>, 2007.</p>

9. Discusión

Los arribazones de algas de Sisal, Yucatán, provienen de los bancos de macroalgas bentónicas de la región y están compuestos principalmente por macroalgas de la división Rhodophyta, específicamente de las especies *Alsidium seaforthii* y *Alsidium triquetrum* (Avila-Mosqueda, *et al.*, 2018) y en una menor porción, *Sargassum* sp., lo que confirma la aseveración que los arribazones de Sisal no se componen principalmente de sargazo como sucede en el Caribe Mexicano.

Lo anterior se corrobora con estudios como el que realizó Ortegón-Aznar *et al.*, (2010) en las costas de Yucatán, quienes registraron que la riqueza de las especies de las macroalgas rojas y verdes fue mayor que la de las macroalgas cafés. Ellos reportaron 111 especies de las cuales 48 especies son de la división Rhodophyta, 34 de la división Chlorophyta y 29 de la clase Phaeophyceae. Por otro lado, Orvañanos en el 2010 documentó que, dentro de los paisajes bentónicos encontrados en las costas de Sisal, las macroalgas rojas, seguido de las macroalgas verdes formaron los componentes más importantes de los sus ensamblajes bentónicos. En algunos sitios, Las macroalgas rojas contribuyeron con una cobertura de 42.93% en época de secas, en lluvias de 10.07% y en Nortes el 4.52%.

Dentro de los resultados obtenidos en este estudio en cuanto a composición de los arribazones de macroalgas, se encontró que la mayor cantidad de especies encontradas perteneció a la división Rhodophyta (11 especies) seguido de Chlorophyta (7 especies) y por último Heterocontophyta (3 especies). Además, otro estudio de arribazones en otro sitio de la costa de Yucatán (Dzilam de Bravo) confirma que los arribazones de macroalgas también tienen una riqueza mayor de la división Rhodophyta (31 especies), seguido de Chlorophyta (15 especies) y por último Heterocontphyta (13 especies) (Rosado-Espinoza 2012).

Alsidium seaforthii, *Alsidium triquetrum* y *Sargassum* sp (Las principales especies de los arribazones de Sisal); son especies frecuentes lo largo de toda la costa de Yucatán (Red para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Suereste, 2012) y conforman el paisaje submarino de la costa de Sisal y la Reserva Estatal El Palmar

(ubicado a un costado de Sisal), junto con las especies *Gracilaria* sp, *Digenea* sp y *Laurencia* sp. (Orvañanos, 2010., Ortegón-Aznar y Aguilar-Perera, 2014).

Los arribazones de macroalgas en Sisal, Yucatán tienen una temporalidad, cantidad de biomasa arribada y disposición espacial distintos a los arribazones de *Sargassum* spp. del Caribe. En el Caribe, los arribazones masivos de sargazo están directamente relacionados a cuestiones de eutrofización, aumento de la temperatura superficial del agua y corrientes marinas (Núñez Resendiz *et al* 2019., Johnson, *et al.*, 2013 en Berriel, 2018., García-Sánchez, *et al.*, 2020). En Sisal, Yucatán, los agentes causales están relacionados a las condiciones oceanográficas de la región en la temporada de Nortes (Rosado-Espinoza 2012., Núñez, *et al.*, 2020).

En este estudio se observó que en diciembre hubo un aumento de la intensidad del oleaje justo un día antes del muestreo (10 de diciembre), por otro lado, en enero se observaron durante todo el mes condiciones de oleaje altos (Hs y T) proveniente del norte, noreste y noroeste. Por último, en febrero y marzo las condiciones oceanográficas disminuyeron significativamente. Aunque prosiguió la entrada de frentes fríos, estos llegaron muy debilitados al golfo de México (CONAGUA, 2018) por lo que las condiciones de oleaje no se vieron afectadas severamente.

CONAGUA, 2017 mencionó que del cuarto a noveno día de diciembre de este año llegó el sistema frontal más intenso del 2017 y la primera tormenta invernal de la temporada de Nortes de 2017-2018. Posteriormente, para los meses de enero y febrero del 2018, CONAGUA, 2018 reportó cinco y nueve sistemas frontales respectivamente, con varios días de duración. De ellos, fue el de finales del mes de enero el más intenso, mientras que los sistemas frontales posteriores, que se presentaron en febrero y marzo llegaron debilitados al golfo de México CONAGUA (2018).

Lo anterior influenció directamente la biomasa de los arribazones de macroalgas, la cual aumentó gradualmente de diciembre a febrero y para marzo volvió a decrecer significativamente, es decir que durante los eventos de Nortes con oleaje más intensos se tuvo una relación positiva con la biomasa depositada en la playa de Sisal.

En general, el oleaje es uno de los principales agentes causales cuando se habla de arribazones. Principalmente la intensidad, así como como la dirección predominante influyen en el transporte y desplazamiento, lo que propicia que las macroalgas puedan viajar a la deriva y llegar a las playas (Orr, *et al.*, 2005., Gómez, 2015., Cabrera, 2016). Aunado a esto, en diversos sitios como es el caso de Yucatán, las macroalgas de arribazón provienen de ecosistemas adyacentes, por lo que eventos meteorológicos intensos como es el caso de los Nortes, (con condiciones de viento y oleaje intensos provenientes de las zonas polares), propician fricción severa y constante con el fondo marino lo que provoca desprendimiento de las macroalgas bentónicas que a la larga por la dinámica oceanografía de la temporada se transportan a las playas arenosas (Milligan y DeWreede, 2000., Rosado-Espinosa, 2012).

En cuanto a la disposición espacial de los arribazones, en este trabajo, se observaron diferencias significativas de biomasa entre los tres sitios de muestreo, encontrando mayor acumulación en la zona del muelle.

La acumulación de las macroalgas es una respuesta dinámica influenciada por diversos factores, entre ellos la intensidad y la dirección del oleaje, la topografía, la orientación de la playa hacia el mar abierto y las corrientes costeras (Orr *et al.*, 2005., Lastra, *et al.*, 2014., Gómez-Rodríguez, 2015., Cabrera, 2016). En específico, un factor fundamental que controla la hidrodinámica de la zona costera en Sisal es la rotura de oleaje¹, ésta genera en época de Nortes, corrientes en la zona de rompiente con dirección este (Torres-Freyermuth y Puleo, 2017), lo que podría explicar la acumulación de las macroalgas en la zona del muelle (zona este del área de estudio). Sin embargo, es importante denotar que los arribazones no siempre muestran este patrón espacial. Otros factores hidrodinámicos y oceanográficos como el cambio en la predominancia de la dirección del viento, oleaje, la corriente litoral, (que al acabar los eventos de Norte tiene una dirección normal de este-oeste), la topografía de la playa, el cambio en las mareas (que propician el levantamiento de las macroalgas de la zona intermareal), pueden causar que los arribazones modifiquen su disposición espacial en las diferentes

¹ A medida que el oleaje se acerca a la costa, empieza a tocar el fondo. En este proceso la altura de ola crece se inestabiliza y rompe. Esto sucede ya que la velocidad de las partículas de agua en la cresta de la ola excede a la de la propia ola y colapsa (Valentí, 2013).

zonas de la playa (Jackson *et al.*, 2002., Orr *et al.*, 2005., Barreiro, 2013., Torres-Freyermuth y Puleo, 2017).

En este trabajo no se encontró evidencia de que la marea fuera un factor determinante en la llegada de los arribazones de macroalgas, lo cual podría deberse a la poca amplitud, pero como se mencionó anteriormente, puede influenciar el desplazamiento de las macroalgas a lo largo de la playa. Las macroalgas flotan sobre el agua en la zona intermareal en horas de pleamar y se depositan en la arena en horas de bajamar. Kirkman y Kendrick, 1997., Orr, 2005 y Berriel, 2018, mencionan condiciones similares en los eventos de arribazón que estudiaron, además de la importancia que tiene la marea como agente que resuspenden y acumulan macroalgas en las orillas de las playas.

En cuanto al aprovechamiento potencial de las macroalgas de arribazón de Sisal. Por el lado de la bioprospección, las macroalgas que arriban a la costa de Sisal poseen diversas propiedades con uso potencial en diferentes industrias.

Las macroalgas descritas en los arribazones registrados para los años 2018 de la costa de Sisal indican que puede existir un uso biotecnológico que daría valor agregado a lo que hasta el día de hoy han sido consideradas como desperdicios (Gómez, 2018). En los últimos años se han desarrollado esfuerzos para generar proyectos de investigación que propongan el uso de las algas de arribazón del Caribe con fines biotecnológicos (Oranday *et al.*, 2004., Costa *et al.*, 2010., Costa *et al.*, 2011., Rodríguez-Martínez *et al.*, 2015., Leal *et al.*, 2020).

Dentro de los usos que pueden darse a las algas más abundantes en Sisal, como *Alsidium seaforthii* y *Alsidium triquetrum* se han realizado estudios sobre extractos de lectinas BTL-2, ácido ferúlico, DCM-methanol (7:3)., entre otros, comprobando que estos tienen efectos antioxidativos, antitumorales, antibacterianos y anticancerígenos, anticonceptivos (De Lara-Isassi, *et al.*, 2000., Fallarero, *et al.*, 2006; Oliveira, *et al.*, 2008., Moo-Puc, *et al.*, 2008., Cavalcante-Silva *et al.*, 2012., Pereira, 2018). Además, *Alsidium seaforthii* y *Alsidium triquetrum* han sido descritas como agarofitas (Valdés, *et al.*, 1993; Arceres y Araujo, 1995). Principalmente en Cuba se ha explorado este uso encontrando que el agar obtenido de estas especies, es apto para la industria alimentaria, por otro

lado, autores como Vargas, (2004) han descrito el uso de *Alsiduim seaforthii* y *Alsiduim triquetrum* como condimento para sopas y jaleas.

Digenea sp. desde la antigüedad ha sido cocida y usada como alimento en Japón y China (Sentíes, 1992 en Dreckmann y Sentíes, 1994). Sumado a esto, tradicionalmente se emplea como un desparasitante en esta región y se conoce como agarófita (De Lara-Isassi y Ponee, 1991., Ang y Wang, 2006). Por otro lado, ha sido empleada para diversos estudios biotecnológicos en la que sus extractos han brindado buenos resultados como antibacteriano ante *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus pyogenes* y *Streptococcus sanguis* (Mohammad *et al*, 2017), También sus polisacáridos (PLS) han demostrado tener propiedades antiinflamatorias y nocetivas en experimentos con ratones (Pereira, *et al*, 2014).

Sargassum sp. han sido utilizados para la creación de composta y biofertilizantes por su concentración de minerales traza y hormonas que estimulan el crecimiento de plantas (Rosado-Espinoza, 2012., Dreckmann y Sentíes, 2013., Cuxim-Suaste, *et al.*, 2014., Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). Sumado a lo anterior, existe una empresa desde el 2015 de origen Yucateco llamada Salgax, la cual, con el uso de biotecnología, se dedica a producir fertilizantes a base de sargazo y comercializarlos de manera regional en la península de Yucatán (<https://www.salgax.com/>).

Sargassum sp. se ha agregado a la dieta de animales domésticos como cabras, vacas y gallinas. Su empleo ha demostrado tener beneficios en los animales, mejorando la producción de leche, digestibilidad, disminución en contenidos de colesterol en huevos, ya que la macroalga contiene compuestos como carbohidratos, ácidos grasos, potasio, sodio, magnesio, aminoácidos, proteínas, minerales como zinc, fundamentales para la salud animal (Meza, 1998., Carrillo, *et al.*, 2012).

Dejando de lado la industria biotecnológica. Las macroalgas de arribazón podrían ser empleadas como materia prima para el desarrollo de proyectos locales en temporales en época de Nortes con el fin de mitigar y desarrollar alternativas sustentables que beneficien a la comunidad costera de Sisal; ya que, en esta época, los pescadores no desarrollan sus actividades de manera constante debido a las condiciones climáticas.

Ejemplo de proyectos de este tipo, ya se han realizado en Yucatán. Un ejemplo de esto fue un trabajo que se realizó en el municipio de Sinanché, Yucatán: Durante el 2014-2015 se desarrolló un proyecto en el que mujeres de la comunidad elaboraron champús y cremas artesanales a partir del alga *Halymenia floresii*, que arriba a la playa de San Crisanto (Alpuche-Victoria, 2016).

Por otro lado, en Sisal Yucatán previamente existió un proyecto liderado por mujeres de recolección de arribazones para la creación de composta y cultivo de hortalizas para autoconsumo. El proyecto tuvo una duración de aproximadamente dos años, pero no continuó debido a que el intermediario que trabajaba con ellas no renovó el programa y dado a que ellas solo actuaban como beneficiarias, no pudieron continuar con el mismo (Comunicado personal, septiembre 2017).

10. Conclusiones

- Se encontró que los arribazones de macroalgas de Sisal, Yucatán de la época de Nortes 2017-2018 fueron dominados (de acuerdo a su biomasa en peso húmedo) por especies de macroalgas de la división Rhodophyta, en particular del género *Alsidium*, provenientes de los bancos de algas aledaños y no por especies de *Sargassum* spp como ocurre en el Caribe mexicano.
- La dinámica espacio-temporal de los arribazones de macroalgas está influenciada directamente por las condiciones oceanográficas y la dinámica litoral. El oleaje es uno de los agentes causales más grandes y su relación con la biomasa arribada es muy clara. Para complementar estos resultados es recomendable que en estudios posteriores se analicen series de datos previas a la época de Nortes, así como datos de viento y corrientes litorales.
- Al no haber métodos estandarizados para muestreo de arribazones es necesario seguir probando técnicas que arrojen mejores resultados. Se recomienda que el esfuerzo de muestreo se aumente para lograr una mayor resolución temporal (más de un muestreo por mes, antes, durante y después de los eventos de Nortes etc.) para analizar con detalle los patrones de llegada, acumulación, disposición, resuspensión y retirada de los arribazones de macroalgas. También sería recomendable que los muestreos se realizaran en algún momento de mareas similar, por ejemplo, posterior a las mareas vivas.
- Debido a los datos de biomasa húmeda (mayor a 2kg/m²) y la diversidad de especies presentes en los arribazones de macroalgas de Sisal (22 especies determinadas), se puede considerar que las macroalgas de arribazón son un recurso susceptible para su bioprospección por parte de diversas industrias y sin lugar a duda para la creación de múltiples proyectos locales que pueden beneficiar en la época de Nortes a la comunidad pesquera del puerto.

11. Implicaciones de manejo

Es importante considerar que, aunque los arribazones de macroalgas son eventos cíclicos en Sisal, (es decir que ocurren durante todas las épocas de Nortes). La biomasa arribada proviene de las camas de macroalgas marinas² asentadas en sitios posiblemente cercanos, por lo que la disponibilidad y cantidad de algas que arriba a la costa es una cuestión dinámica que depende en su totalidad tanto de la salud y conservación de estos ecosistemas marinos, como de las condiciones oceanográficas que propician el desprendimiento y el traslado de las macroalgas a la playa.

El uso de este recurso al igual que todos, debe ser racionado y empleado de manera sustentable ya que las macroalgas de arribazón forman parte del sistema costero y provee servicios ecosistémicos como alimento y refugio para invertebrados y aves costeras, propician nutrientes para la vegetación de duna costera, además de contribuir a la formación y retención de arena en las playas. Por lo tanto, se recomienda la limpieza de las playas o de los puertos de abrigo, sólo si es una cuestión de alta importancia como la obstrucción de las entradas de los puertos de abrigo.

El estudio de los arribazones de macroalgas tiene múltiples beneficios como el conocimiento de la biodiversidad de macroalgas en la zona litoral de una forma mucho más económica y de fácil acceso. Por otro lado, la información recabada de la abundancia y diversidad forma una línea base en caso de que los arribazones de macroalgas en Yucatán comiencen a sufrir alteraciones y más que un recurso potencial, se vuelvan una problemática como la que se observa en la zona costera del Caribe.

Es fundamental que para futuros proyectos de aprovechamiento de arribazones de macroalgas que involucren a las comunidades humanas costeras, se integren a las personas en todas las etapas de este; desde la planeación inicial hasta la realización y culminación. Con esto, la comunidad no sólo se beneficia de la participación, si no que aprende de manera práctica a realizar proyectos que en el futuro podrían desarrollar por su cuenta.

² Comunidades de macroalgas bentónicas.

12. Bibliografía

- Alpuche-Victoria, D., Santos-Flores, J. y Iuit-González, M. (2016). Elaboración de productos cosméticos con algas marinas por mujeres emprendedoras del Municipio de Sinanché, Yucatán, México. *Bioagrociencias*. 9(1): 7-16.
- Álvarez-Cobelas, M. y Gallardo, T. (1989). Una revisión sobre la biotecnología de las algas. Universidad Complutense. Madrid, España. 60.
- Anderson M.J., Gorley R.N. & Clarke K.R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E: Plymouth, UK.
- Anderson, D.M. (1989). Toxic blooms and red tides: a global perspective. *Environmental Science and Toxicology*.
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral ecology*, 26(1), 32-46.
- Ang, Po.Jr. y Wang, H., (2006). Chinese traditional uses of algae in medicine and food. 6ta conferencia de biotecnología de algas Asia-Pacífico. Universidad de Filipinas.
- Ángeles-Pérez, A. (2014). Descripción de un nuevo género de algas rojas coralinas (Corallinales, Rhodophyta). (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur. Baja California, México.
- Antinociceptive and Anti-Inflammatory Activities of Crude Methanolic Extract of Red Alga *Bryothamnion triquetrum*. *MarDrugs*.10. .1977-1992.
- Arceres, A.J. y Araujo, M. (1995). Influencia de la salinidad y la temperatura sobre el crecimiento de *Bryothamnion triquetrum* (Rhodophyta: Rhodomelaceae). *Biología tropical*. 44(2). 449-454.
- Armenta-Bojórquez, A.D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*. 6(1): 51-56.
- Avila Mosqueda. S.V. (2018). Los arribazones de macroalgas en las costas de Yucatán: distribución, composición, problemáticas y usos potenciales. (Monografía Licenciatura). Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida Yucatán.
- Avila-Mosqueda, V., Ortegón-Aznar, I., Suarez, A.M. (2017). Estudio preliminar de los arribazones de algas bénticas en la época de Nortes en Sisal, Yucatán. En Torres-Lara. R. (Presidencia). V Simposio de Red para el conocimiento de los recursos costeros del sureste (RECORECOS). Simposio llevado a cabo en Chetumal, Quintana Roo.
- Berriel-Bueno, D. (2018). Arribo masivo de sargazo a la laguna arrecifal de Puerto Morelos: Condiciones de permanencia y dispersión. (Tesis de maestría). Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mérida, México.
- Bianchi, M., Van Wambeke, F y Bianchi, A. (1998). Heterotrophic Processes in Eutrophicated Aquatic Marine Environments. *Progress in Oceanography*, 21(2):159-166.
- Bidegain, M. (2010). Curso De Taller De Introducción A La Meteorología.

- Blancas-García, J.R. (2014). Evaluación de la pesquería de pulpo rojo *Octopus maya* en el puerto de Sisal, Yucatán, México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México.
- Blomster, J., Back, S., Fewer, D.P., Kiiirikki, M., Lehvo, A., Maggs, C.A. y Stanhope, M.J. (2002). Novel morphology in *Enteromorpha* (Ulvophyceae) forming green tides. *American Journal of Botany*. 89(11): 1756-1763 .
- Borines, M.G., L de Leon, R. y Cuello, J.L. (2013). Bioethanol production from the macroalgae *Sargassum* s. *Bioresource Technology*. 138. 22-29.
- Borja, A. (1987a). Cartografía, evaluación de la biomasa y arribazones del alga *Gelidium sesquipedale* (Clem.), Born et Thur. En la costa guipuzcoana (N España). *Investigaciones Pesqueras*. 51(2):199-224.
- Borja, A. (1987b). El alga "Gelidium" en la costa Guipuzcoana (Mapas, evaluación del tonelaje y arribazones). Servicio de Investigación Oceanográfica. San Sebastián, España.
- Borja, A. (1994). Factores ambientales que influyen en el crecimiento, producción y desprendimiento de biomasa en praderas naturales de *Gelidium sesquipedale* (Clem.), Born et Thur. En el País Vasco (N de España). *Scientia Marina*. 58(3):251-260.
- Cabrera, E. (2016). Estudio de la exportación de biomasa algal en las costas de Tenerife. Trabajo de fin de grado. Facultad de biología. Universidad de la laguna. España.
- Calvo, M. (s/a). Bioquímica de los alimentos: Agar. Recuperado de: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/agar.html> (Consultado el 09/08/18).
- Carrillo, S., Bahena, A., Casas, M., Carranco, M. E., Calvo, C. C., Ávila, E., & Pérez-Gil, F. (2012). El alga *Sargassum* spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(2), 181-186.
- Carstensen, J., Henriksen, P. y Heiskanen, A.S. (2007). Summer algal blooms in shallow estuaries: Definition, mechanisms, and link to eutrophication. *Limnology and Oceanography*. 52(1):370-384.
- Castellanos-Ruelas, A.F., Cauich-Huchim, F, Chel-Guerrero, A. y Rosado-Rubio J.G. (2010). Vegetación marina en la elaboración de bloques multinutritivos para la alimentación de rumiantes *Revista Mexicana Ciencia Pecuaria*. 1(1): 75-83 .
- Cavalcante-Silva, L.H., Barbosa-Brito da Matta, C., Vital de Araújo, M., Barbosa-Filho, M., Pereira de Lira, D., Viviana de Oliveira-Santos, B., C. de Miranda, G.E., Alexandre-Moreira, M.S. (2012).
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian journal of ecology*, 18(1), 117-143.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N. (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial* PRIMER-E: Plymouth
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). Reporte Anual 2015.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017). Reporte Anual 2017
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). Reporte Anual 2018

Costa, L.S., C.B.S. Telles, R.M. Oliveira, L.T.D.B. Nobre, N. Dantas-Santos, R.B.G. Camara, M.S.S.P. Costa, J. Almeida-Lima, R.F. Melo-Silveira, I.R.L. Albuquerque, E.L. Leite and H.A.O. Rocha. (2011). Heterofucan from *Sargassum filipendula* induces apoptosis in HeLa cells. *Marine Drugs* 9(4): 603–614.

Costa, L.S., G.P. Fidelis, S.L. Cordeiro, R.M. Oliveira, D.A. Sabry, R.B. Camara, L.T. Nobre, M.S. Costa, J. Almeida-Lima, E.H. Farias, E.L. Leite and H. A. Rocha. 2010. Biological activities of sulfated polysaccharides from tropical seaweeds. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 64(1): 21–28.

Cuxim-Suaste, M.E. y Balam-Cen, R.V. (2014). Proceso para la elaboración de un biofertilizante a base de *Sargassum*. *Revista Ingeniantes*. 1(1):56-59.

Czeżowski, T. (2000). Knowledge, Science, and Values: A Program for Scientific Philosophy. Rodopi. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?id=XX5uKrU3lOAC&pg=PA96&dq=characterize+definition&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiAl6_a7bPoAhVP-qwKHdQkC4oQ6AEIRTAD#v=onepage&q&f=false

De Lara-Isassi, G., Álvarez-Hernández, S., Collado-Vides, L. (2000). Ichthyotoxic activity of extracts from Mexican marine macroalgae. *Journal of Alieed Phycology*. 12. .45-52.

Departamento de productos acuáticos del ministerio de agricultura de China. (1990). Training Manual on Gracilaria Culture and Seaweed Processing in China. FAO.

Díaz, A., Romero, P., Salamanca, J.M. y Munguía, A. (2017). Recolección de algas, Tradición en auge. *MAR*. 565:24-39 .

Díaz-Rebollido, P.M. (2010). Obtención de gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva lactuca*. *Serie Oceanológica*. 7:52-60.

Dreckmann, K. M., & Sentíes, A. (1994). El alga *Digenea simplex* (Ceramiales: Rhodomelaceae) en México: variación biogeográfica. *Revista de biología tropical*, 443-453.

Dreckmann, K.M y Sentíes, A. (2013). Los arribazones de algas marinas en el Caribe Mexicano: Evento biológico o basura en las playas. *CONABIO. Biodiversitas*, 107.7-11 .

Dufey, A. (2006). Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas. Iled. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=8q85_nrOh2gC&oi=fnd&pg=PA1&dq=biocombustibles&ots=fUcGytq27&sig=zx0VPiYUJfSOn3Yf52Tv0kOdhY4#v=onepage&q=biocombustibles&f=false.

Empresa FAVINI. Fabricación de papel con algas. Recuperado de: <https://www.favini.com/gs/en/fine-papers/shiro/features-lications/>.

Enríquez, C., Mariño-Tapia, I.J. y Herrera-Silveira, J.A. (2010). Dispersion in the Yucatan coastal zone: Implications for red tide events. *Continental Shelf Research*. 30:127-137.

Eyras, M.C y Sar, E.A. (2003). Arribazones estivales en Puerto Madryn, Argentina, como materiales para la obtención de compost). *Bol. Soc. Argent. Bot.*38(1-2).105-111.

- Fallarero, A., Peltoketob, A., Loikkanenc, J., Tammelab, P., Vidal A., Vuorelab, P. (2006). Effects of the aqueous extract of *Bryothamnion triquetrum* on chemical hypoxia and aglycemia-induced damage in GT1-7 mouse hypothalamic immortalized cells. *Phytomedicine*. 13. .240-245.
- Figueroa-Espinoza, B., Salles, P. López-González-J., Ruiz-Angulo, A. y Martín-Ruiz, G.U. (2017). Caracterización del viento en Sisal. En Garza Pérez, J.R. y Lema I.I. (Ed.), *Caracterización multidisciplinaria de la zona costera de Sisal, Yucatán, hacia una gestión integral y fortalecimiento de la resiliencia*. (.15-29). Mérida, Yucatán, México: Dante.
- Fraga-Rivas, Santiago. (2014). *Caracterización taxonómica y ecología de especies crípticas o pseudocrípticas de dinoflagelados nocivos*. Tesis doctoral. Universidad de Vigo. España.
- Fuentes-Yaco CD, AS de Leon, MA Monreal-Gomez, F Vera-Herrera. 2001. Environmental forcing in a tropical estuarine ecosystem: the Palizada River in the southern Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research*, (52): 735–744.
- Garza Pérez, J.R., Naranjo Garía, J. y Orvaños Donis, P. (2017). Dinámica temporal de los paisajes sublitorales de Sisal, Yucatán. En Garza Pérez, J.R. y Lema I.I. (Ed.), *Caracterización multidisciplinaria de la zona costera de Sisal, Yucatán, hacia una gestión integral y fortalecimiento de la resiliencia*. (102-120). Mérida, Yucatán, México: Dante.
- Gómez Hernández, M. (2018). *Los arribazones de macroalgas en las costas de Yucatán: distribución, composición, problemáticas y usos potenciales*. (Tesis de maestría). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán.
- Gómez-Ramírez, M. y Reséndiz-Espinosa N. (2002). Seguimiento de Nortés en el litoral del Golfo de México en la temporada 1999-2000. *Revista Geográfica* 131.5-19.
- Gómez-Rodríguez, M. (2015). *Ecología de los varamientos de macroalgas en playas estuáricas de la costa de Galicia*. (Tesis Doctoral). Universidad de Vigo. España.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9.
- Hanisak, D. (1993). Nitrogen release from decomposing seaweeds: species and temperature effects. *Journal of allied phycology*. 5:175-181 .
- Hartmann, J., Caswell, H., & Baliela, I. (1982). Effects of wrack accumulation on salt marsh vegetation. *Oceanologica Acta*, 99-102.
- Hay, M. E., y Norris, J. N. (1984). Seasonal reproduction and abundance of six sympatric species of *Gracilaria* Grev.(Gracilariaceae; Rhodophyta) on a Caribbean subtidal sand plain. In *Eleventh International Seaweed Symposium* (. 63-72). Springer, Dordrecht.
- Hopley, D. (2011). *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*. Springer. DOI: 10.1007/978-90-481-2639-2.
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771413004460>
- Huerta-Muzquiz, L. Mendoza-González, A.C., Mateo-Cid, L.E. (1987). Avance sobre un estudio de las algas marinas de la península de Yucatán. *Phytología*.62(1):23-53.

- I. van Tussenbroek, B., Hernández-Arana, H.A., Rodrigo-Martínez, R.E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H.M., González-Godoy, C.E., Barba-Santos, M.G., Vega-Zepeda, A. Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*.122- 272-281.
- Ibraheem, I. B., Abd Elaziz, B. E., Moawad, A., Hassan, H. M., Mohamed, W. A. y Abdel-Raouf, N. (2017). Antimicrobial and anti-inflammatory effects of two different marine red algae species collected from Quseir, the Red Sea, Egypt. *Asian Journal of Biology*, 1-10.
- Ibraheem, I. B., Abd Elaziz, B. E., Moawad, A., Hassan, H. M., Mohamed, W. A., & Abdel-Raouf, N. (2017). Antimicrobial and anti-inflammatory effects of two different marine red algae species collected from Quseir, the Red Sea, Egypt. *Asian Journal of Biology*, 1-10.
- INEGI. (2010). Información por entidad, Yucatán. Cuéntame. Recuperado de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/default.aspx?tema=me&e=31>
- Jackson, J. B. C., Donovan, M. K., Cramer, K. L., & Lam, W. (2014). Status and Trends of Caribbean Coral Reefs :1970-2012. Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN, Gland, Switzerland, 306.
- Ji-Hyeon, Y. Hyeon-Beom, S. Sung-Ho, Oh, Won-Seok, C., Hyung-Jang, D. Hyeon-Yong, L. y Kyung-Hwan, J. (2010). Bioethanol Production from Hydrolysate of Seaweed *Sargassum sagamianum*. *KSBB*. 25: 283-288.
- Kirkman, H., & Kendrick, G. A. (1997). Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach-cast macro-algae and seagrasses in Australia: a review. *Journal of Allied Phycology*, 9(4), 311-326.
- Knoshaug, E.P., Shi, B., Shannon, T.G. Mleziva, M.M. y Pienkos, P.T. (2012). The potential of photosynthetic aquatic species as sources of useful cellulose fibers—a review. *Journal Aly Phycology*. 25:1123-1134.
- Laguna-González, M.M. (2016). Uso de las algas en la alimentación de los animales domésticos. (Monografía de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narrounidad Laguna, Torreón, Coahuila, México.
- Lastra, M., Rodil, I. F., Sánchez-Mata, A., García-Gallego, M., & Mora, J. (2014). Fate and processing of macroalgal wrack subsidies in beaches of Deception Island, Antarctic Peninsula. *Journal of Sea Research*, 88, 1-10.
- Leal Bautista, R.M., Tapia Tussell, R. y Alzate Gaviria, L. (2020). Usos potenciales del sargazo. *Ciencia*. 71(4): 52-57.
- Legendre, P., & Legendre, L. F. (2012). Numerical ecology (Vol. 24). Elsevier.
- López- González, J.L. y Domínguez Sandoval, M.F. (2017). Caracterización de oleaje frente a la costa de Sisal, Yucatán. En Garza Pérez, J.R. y Lema I.I. (Ed.), *Caracterización multidisciplinaria de la zona costera de Sisal, Yucatán, hacia una gestión integral y fortalecimiento de la resiliencia*. (.30-39). Mérida, Yucatán, México: Dante.

- López, M.M., Moral, A., Aguado, R., Campaña, M.L. y Tijero, A. (2013). Evaluation of bloom algae as raw material for papermaking. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Ana_Moral/publication/267390264_EVALUATION_OF_BLOOM_ALGAE_AS_RAW_MATERIAL_FOR_PAPERMAKING/links/54bc31970cf24e50e94047f2.pdf
- Majeed-Khan, A. y Shoukat-Hussain, S. (2015). Production of Biofuels from Marine Macroalgae *Melanthamnus afaqhusainii* and *Ulva fasciata* Chemical Society of Pakistan. 37(2): 371-379.
- Marchiaro, A.B., Pentreath, V., Maldonado, F. y Berastegui, A.M. (2013). Biofertilizantes: Estudios preliminares para el potencial uso del alga *Undaria pinnatifida*. Asociación Argentina de Ingenieros y Químicos.
- Martin, J. y Haggith, M. (2018). The state of the global paper industry: shifting seas: New challenges and opportunities for forests, people and the climate. Environmental Paper Network.
- McHugh D.J. (2002). Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. FAO. Departamento de pesca. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/004/y3550s/Y3550S00.htm>
- Méndez-López, G. (2014). Fertilización a base de extractos de algas marinas y su relación con la eficiencia del uso del agua y de la luz de una plantación de vid y su efecto en el rendimiento y calidad de frutos. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coahuila, México.
- Meza, A.M.L. (1998). Impacto sobre la calidad del huevo al incluir algas marinas en raciones para gallinas ponedoras. tesis de maestría. Fac. Med. Vet. Zoot. UNAM. México.
- Milligan, K. L., & DeWreede, R. E. (2000). Variations in holdfast attachment mechanics with developmental stage, substratum-type, season, and wave-exposure for the intertidal kelp species *Hedophyllum sessile* (C. Agardh) Setchell. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 254(2), 189-209.
- Moo-Puc, R., Robledo, D., Freile-Pelegrin, Y. (2008). Evaluation of selected tropical seaweeds for in vitro anti-trichomonal activity. *Journal of Ethnopharmacology*. 120. 92-97
- Mukherjee, P. y Keshri, J.P. (2018). Present Status and Development of Algal Pulp for Hand-Made Paper Making Technology: A Review. *Advances in Plants & Agriculture Research*. 8(1):12-19.
- Nilka de Oliveira, M., Ponte-Freitas, A.L., Urano-Carvalho, A.F., Tavares-Sampaio, T. M., Farías, D.F., Alves-Teixeira, D.I., Gouveia, S.T., Gomes-Pereira, J., de Castro Catanho de Sena, M.M. (2009). *Food Chemistry*. 115:254-259.
- Oliveira, C.B., Fonseca, V., Antunes, E., Camargo, A., Morganti, R., Aparício, R., Toyama, D., Beriam, L., Eudismar., Nunes, V., Benildo, C., Nagano, C., Sampaio, A., Nascimento, K., Toyama, M. (2008). Modulation of the pharmacological effects of enzymatically-active PLA2 by BTL-2, an isolectin isolated from the *Bryothamnion triquetrum* red alga. *BioMedCentral*.9(16). .1-12.

Oliveira, C.B., Fonseca, V., Antunes, E., Camargo, A., Morganti, R., Aparício, R. Toyama, D., Beriam, L., Eudismar., Nunes, V., Benildo, C., Nagano, C., Sampaio, A., Nascimento, K., Toyama, M. (2008). Modulation of the pharmacological effects of enzymatically-active PLA2 by BTL-2, an isolectin isolated from the Bryothamnion triquetrum red alga. *BioMedCentral*.9(16):1-12.

Oranday, M.A., M.J. Verde, S.J. Martínez-Lozano and N.H. Waksman. (2004). Active fractions from four species of marine algae. *International Journal of Experimental Botany* 73: 165–170.

Orr, M., Zimmer, M., Jelinski, D.E. y Mews, M. (2005). Wrack deposition on different beach types: spatial and temporal variation in the pattern of subsidy. *Ecological Society of America*. 86(6):1496-1507.

Ortegón-Aznar, I. y Aguilar-Perera, A. (2014). Distribución de las macroalgas en Áreas Naturales Protegidas de la costa norte de la península de Yucatán, México. *Revista de Investigaciones Marinas*. 34(2):1-12.

Ortegón-Aznar, I., Collado-Vides, L., Montejano-Zurita, G., Sánchez-Molina, I. (2011). Algas. En Bautista-Zúñiga, F., Palacio-Prieto, J., Delfín-González, H. (segunda edición). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*.293-331. D.F., México.Centro de investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Ortegón-Aznar, I., Freile-Pelegrín, Y. y Robledo-Ramírez, D. (2010). Diversidad vegetal. *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. 162-164.

Orvañanos-Donis. D.P. (2010). Variabilidad temporal de las comunidades bentónicas del litoral de Sisal, Yucatán. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Pereira, J. G., Mesquita, J. X., Aragão, K. S., Franco, Á. X., Souza, M. H., Brito, T. V. y Abreu, C. M. W. (2014). Polysaccharides isolated from *Digenea simplex* inhibit inflammatory and nociceptive responses. *Carbohydrate polymers*, 108, 17-25.

Pereira, L. (2018). *Therapeutic and nutritional uses of algae*. CRC Press. Florida, EUA. 640pp.

Portillo-Hahnefeld, E. (2008). *Arribazones de algas y plantas marinas en Gran Canaria. Características, gestión y posibles usos*. Santa Lucía: Instituto Tecnológico de Canarias. SA.

Ramírez, D. R., & Pelegrín, Y. F. (1998). Macroflora marina de interés económico de las costas de Yucatán. *Aspectos económicos sobre biodiversidad de México*, 167.

Real Academia Española (2020). *Caracterizar*. Recuperado de: <https://dle.rae.es/caracterizar>

Red para el conocimiento de los recursos costeros del sureste (RECORECOS). Biodiversidad del sureste de México en: <http://www.sisal.unam.mx/recorecos/dazcsmf1/> (Consultado el 16/01/2020).

- Rendiz, M. L. N., Dreckmann, K. M., Senties, A., Wynne, M. J., y TEJERA, H. L. (2019). Marine red algae (Rhodophyta) of economic use in the algal drifts from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Phytotaxa*, 387(3): 219-240.
- Robledo-Ramírez, D. y Freile-Pelegrín, Y. (1998). Macroflora marina de interés económico de las costas de Yucatán. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). Mérida, Yucatán.
- Rodríguez-Martínez, R.E., Van Tussenbroek, B., Jordán-Dahlgren, E. (2016). Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014-2015) en Florecimientos algales nocivos en México. edición 1. Capítulo 5. CICESE. México. 352-365.
- Rosado-Espinoza, L. (2012). Caracterización fisiológica de las comunidades bentónicas y de arribazón en Dzilam de Bravo, Yucatán (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Yucatan. Yucatán, México.
- Salinas-Callejas, E. y Gasca-Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *El cotidiano*. 157: 75-82.
- Sánchez-Molina. I., González-Ceballos, J., Zetina-Moguel, C., Casanova-Cetz, R. (2007). Análisis de la biodiversidad de algas marinas situadas entre Uaymitún y Chuburná, Yucatán. *Ingeniería*. 11(1):43-51.
- Santelices, B. y Meneses, I. (2000). A reassessment of the phytogeographic characterization of Temperate. Pacific South America. *Revista chilena de historia natural*. Chile. 73(4):604-614.
- Schramm, W. y Nienhuis, P. N. (Eds.). (1996). *Marine benthic vegetation: recent changes and the effects of eutrophication* (No. 123). Springer Science & Business Media.
- Seo, Y.B., Lee, Y.W., Lee, C.H. y You, H.C. (2010). Red algae and their use in papermaking. *Bioresource Technology* 101:2549–2553.
- Serviere-Zaragoza, E., Collado-Vides, L. y González-González, J. (1992). Caracterización ficológica de la laguna de Bojorquez, Quintana Roo, México. *México. Caribbean Journal of Science* 28:3-4. 126-133.
- Smetacek V. y Zingone, A. (2013). Green and Golden seaweed tides on the rise. *Nature*. 504: 84-87.
- Soler-Bientz, R., Watson, S. e Infield, D. (2010). Wind characteristics on the Yucatán Peninsula based on short term data from meteorological stations. *Energy Conversions and Management*. 51. 754-764.
- Soler-Bientz, R., Watson, S., Infield, D. y Ricalde-Cab, L. (2011). Preliminary study of the offshore wind and temperature profiles at the North of the Yucatán Peninsula. *Energy Conversion and Management*. 52. 2829-2843.
- Soria-Fregoso, M. D. J., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers-Barra, J., Alcántar-González, G., Trinidad-Santos, J., Borges-Gómez, L., & Pereyda-Pérez, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(4). 353-362.

- Suárez, A.M., Martínez-Daranas, B., Alfonso, Y. (2015). Macroalgas marinas de Cuba. UH. Habana, Cuba. 259.
- Taylor, W. R. (1935). Botany of the Maya area: Miscellaneous paper VII. Marine Algae from the Yucatan Peninsula. Pubis. Carneg. Inst. Washington, 461, 115-124.
- Teschke, K. y Demers, P. (2001). En Stellman, J.M. (Ed.) Industria del papel y de la pasta de papel. Recuperado de: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/72.pdf>
- Torres-Freyermuth, A. y Puleo, J.A. (2017). Caracterización de la hidrodinámica costera durante eventos de brisas y Nortes frente a la costa de Sisal Yucatán. En Garza-Pérez e Ize-Lema- Caracterización multidisciplinaria de la zona costera de Sisal, Yucatán, hacia una gestión integral y fortalecimiento de la resiliencia. 40-48. LANRESC, Yucatán, México.
- Valdés, O., Cortés, R., Díaz, M. (1993). Caracterización del polisacárido producido por el alga roja *Bryothamnion seafortii* (Turner) Kützing, procedente de un banco natural de la costa norte de la plataforma insular cubana. Centro de Investigaciones Pesqueras, La Habana, Cuba. .13-18.
- Valentí Bauxell, Gerard. "Evaluación de la vulnerabilidad de la costa catalana al impacto de tormentas a partir del rebase del oleaje." (2013).
- Valle, H., Ospina, S., Galeano, E., Martínez, A., Marquez, M. E., & Jópez, J. B. (2008). Componentes de la fracción antimutagénica del extracto etanólico de la macroalga *Digenia simplex*. *Vitae*, 15:(1), 141-149.
- Vargas-López, V.R. (2004). Potencial económico de la flora ficológica del litoral del estado de Tamaulipas, México. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México.
- Vilchis-Alfaro M.I. (2015). Biogeografía de las grandes macroalgas en el Golfo de México y Caribe mexicano (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México, México
- Xiao, Y., Zhang, J. y Cui, Tingwei. (2017). High-precision extraction of nearshore green tides using satellite remote sensing data of the Yellow Sea, China. *International Journal of Remote Sensing*. 38(6): 1626-1641.
- Yáñez, R.E. (2017). Nuevos biofertilizantes a base de algas marinas. Monografía de licenciatura. Fac de Agronomía. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
- Yañez-Torres, R.E. (2017). Nuevos biofertilizantes a base de algas marinas. (Monografía de licenciatura). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Ye, N. H., Zhang, X. W., Mao, Y. Z., Liang, C. W., Xu, D., Zou, J. y Wang, Q. Y. (2011). 'Green tides' are overwhelming the coastline of our blue planet: taking the world's largest example. *The Ecological Society of Japan*. 26: 477-485.

- Zaldívar-Jiménez, A., Herrera-Silveira, J., Coronado-Molina C., Alonzo-Parra, D. (2004). Estructura y productividad de los manglares en la reserva de la biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y bosques*. 2. 25-35.
- Zhou, M.J., Liu, D.Y., Anderson, D.M. y Valiela, I. (2015). Introduction to the Special Issue on green tides in the Yellow Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 163. 3-8.
- Zubia, M., Robledo, D., & Freile-Pelegri, Y. (2007). Antioxidant activities in tropical marine macroalgae from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of applied phycology*, 19(5): 449-458.