



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**CARACTERIZACIÓN DE *Sargassum* spp DEL CARIBE
MEXICANO Y SU USO POTENCIAL COMO BIOSORBENTE DE
ESPECIES IÓNICAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
PRESENTA

MELISA GALLEGOS MARTÍNEZ

Asesores:

MVZ, M.Sc., PhD Silvia Elena Buntinx Dios
IA, M en C, Dr. Arturo Galvis Spinola

Ciudad Universitaria, Cd. México

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.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, quienes me enseñaron el arte de mantenerse firme a los ideales y nunca rendirse a pesar de las dificultades. Por su amor y apoyo.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi asesora, por aventurarse conmigo en un tema casi ajeno a la carrera y por aceptarme como tesista sin siquiera conocerme. En segundo lugar, a cada una de las personas que me orientó y ayudó en cada rumbo al que me dirigí para realizar mi muestreo, especialmente a Carlos Galindo, Lucía y Nacho, gracias por su hospitalidad y ayuda con el cuidado de las muestras cuando lo necesité; al señor Rodrigo, quien tuve la fortuna de encontrar en el camino rumbo a uno de los puntos más difíciles de acceder para hacer el muestreo y quien me cuidó como a una hija, asegurándose de mantenerme a salvo; a Bolotours, quien, sin su colaboración, ayuda y enseñanzas, el muestreo mar adentro hubiese sido imposible; a la esposa del alcalde del pueblo de Mahahual, quien me abrió las puertas de su hogar, me compartió anécdotas de su comunidad y me brindó su apoyo.

También agradezco a los creadores de la plataforma Observatorio Ciudadano del Sargazo, por sus atenciones e información generada, así como su disposición para colaborar con este proyecto; al Dr. Luis Corona Gochi, quien brindó la oportunidad de realizar el perfil de elementos minerales en el del Laboratorio de Análisis de Alimentos del DNAB, así como al personal involucrado; así mismo, al personal del Laboratorio de Agua-Suelo-Planta-Ambiente del Colegio de Postgraduados que colaboró con el procesamiento de muestras; al personal del Laboratorio General de Análisis de la Sección de Riego y Drenaje del Departamento de Irrigación de la Universidad Chapingo, y en especial, al QFB Juan Carlos Herrera, por su profesionalismo, su ayuda y por su disposición de aclarar cada una de mis dudas; a Joseph Guy-Hilaire y a los M. en C. Aldo González Ramírez y Alejandro Núñez Vilchis, por su valiosa orientación, sus conocimientos de excelencia y aportes a este estudio.

Finalmente, gracias infinitas a mis mejores amigos: Eneida, Verónica, Alex, Erika y Natalia, que nunca pararon de darme esperanzas y ánimos.



CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
1. El fenómeno de recalc de sargazo en el Caribe mexicano	3
2. Eutrofización y el sargazo	7
3. Usos potenciales del sargazo	9
4. La bioadsorción como biotecnología para rehabilitación de suelos	11
HIPÓTESIS	13
OBJETIVOS GENERALES	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
MATERIAL Y MÉTODOS	14
1. Caracterización del patrón de distribución del recalc de sargazo en la costa de Quintana Roo durante el año 2019	14
2. Urbanización en la región del Caribe mexicano y su relación con los puntos de mayor intensidad de recalc	15
3. Caracterización química del <i>Sargassum</i> spp y su relación con la urbanización	17
3.1 Muestreo	17
3.2 Preparación de las muestras	18
3.3 Metodología experimental	20
4. Compost de <i>Sargassum</i> spp y evaluación de su capacidad de adsorción de iones metálicos	21
4.1 Elaboración del compost	21
4.2 Capacidad de adsorción iónica del compost de sargazo	23
5. Análisis estadístico	27
RESULTADOS y DISCUSIÓN	28
1. Caracterización del patrón de distribución del recalc de sargazo en la costa de Quintana Roo para el año 2019 y su relación con la urbanización	28
2. Caracterización química del <i>Sargassum</i> spp y su relación con la urbanización	37
3. Evaluación de la capacidad de adsorción de iones metálicos del compost de <i>Sargassum</i> spp.	45

3.1 Elaboración del compost	45
3.2 Capacidad de adsorción iónica del compost de sargazo	46
CONCLUSIONES	52
REFERENCIAS	53
ANEXOS	66
ANEXO I. Bases de datos generadas a partir de la plataforma Observatorio Ciudadano del Sargazo para el periodo de mayo – noviembre 2019.	66
ANEXO II. Registro de pesos obtenidos durante el proceso de compostaje.	73
ANEXO III. Perfil de fibras realizado.	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Nivel de urbanización en Quintano Roo.	16
Cuadro 2. Proporciones de las mezclas de sargazo con dos tipos de suelo, andosol y vertisol para todos los tratamientos.	22
Cuadro 3. Registro de pesos al inicio del proceso de compostaje (14/11/2019).	22
Cuadro 4. Cantidad de agua requerida para llevar a los diferentes sustratos a sus respectivas capacidades de campo.	22
Cuadro 5. Moda del recale durante mayo-noviembre de 2019 de acuerdo con el nivel de urbanización de 14 puntos de muestreo.	29
Cuadro 6. Matriz de correlación entre la urbanización y la moda del recale de mayo a noviembre de 2019 en 14 puntos de muestreo.	31
Cuadro 7. Matriz de correlación entre la latitud y la moda del recale de mayo a noviembre de 2019 en 14 puntos de muestreo.	31
Cuadro 8. Fracciones de fibra del sargazo en estudio.	37
Cuadro 9. Perfil químico del sargazo muestreado en altamar y varado en el mar.	39
Cuadro 10. Perfil químico del sargazo varado en la arena.	39
Cuadro 11. Perfiles químicos de sargazo reportados.	40
Cuadro 12. Concentraciones halladas de As, Cd, Pb y Hg en diferentes estudios.	40
Cuadro 13. Vectores ordenados por elemento a analizar con la prueba Shapiro-Wilk.	41
Cuadro 14. Resultados de la prueba Shapiro-Wilk.	43
Cuadro 15. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney para el perfil químico.	43
Cuadro 16. Pesos obtenidos al finalizar la incubación de los 12 tratamientos: antes del secado final y después de éste.	45
Cuadro 17. Resultados del fósforo y potasio solubles en los diferentes tratamientos sargazo:suelo.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sargazo presente en el mar del Caribe arribando a la costa de Puerto Morelos el 8 de julio de 2018.	3
Figura 2. Densidad de <i>Sargassum</i> spp desde julio de 2011 a julio de 2018.	4
Figura 3. Localización del Mar de los Sargazos.	5
Figura 4. Sargazo colectado (m ³) durante el 2018.	7
Figura 5. Puntos de muestro en la costa de Quintana Roo.	14
Figura 6. Puntos de muestreo de sargazo en la costa de Quintana Roo.	17
Figura 7. Zonas de muestreo de sargazo en la costa de Quintana Roo.	19
Figura 8. Muestra de sargazo transportada en costal de rafia.	20
Figura 9. Muestras en bolsas de papel perforadas y colocadas en el horno de secado.	20
Figura 10. Tratamientos de mezclas de sargazo con suelo para realizar el compost <i>In vitro</i> .	21
Figura 11. Secado final de los tratamientos de compost <i>in vitro</i> en estufa con condiciones controladas.	23
Figura 12. Preparación de las muestras para la prueba de adsorción.	25
Figura 13. Centrifugación y filtración de sobrenadantes de los tubos.	25
Figura 14. Mediciones de fósforo soluble.	26
Figura 15. Mediciones de potasio soluble.	26
Figura 16. Modas mensuales de la intensidad de recale apreciada en 20 puntos de norte a sur.	30
Figura 17. Modas mensuales de la intensidad de recale apreciada en 14 puntos de acuerdo con la latitud de cada punto seleccionado.	32
Figura 18. Ejemplo de trayectoria de las corrientes marinas desde la cuenca del Amazonas hasta la Península de Yucatán.	34
Figura 19. Flujo de corrientes marinas en la costa de Quintana Roo para el periodo del 10 al 16 de julio de 2019.	35
Figura 20. Presencia de potasio en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Andisol como sustrato.	48
Figura 21. Presencia de potasio en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Vertisol como sustrato.	48
Figura 22. Presencia de fósforo en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Andisol como sustrato.	50
Figura 23. Presencia de fósforo en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Vertisol como sustrato.	50

RESUMEN

GALLEGOS MARTÍNEZ MELISA. Caracterización de *Sargassum spp* del caribe mexicano y su uso potencial como biosorbente de especies iónicas (bajo la dirección de: MVZ, M.Sc., PhD Silvia Elena Buntinx Dios e IA, M en C, Dr. Arturo Galvis Spinola)

Debido a la presentación inusual de un fenómeno de arribazones masivos de sargazo en el Caribe desde el año 2011, se han iniciado estudios y propuesto diferentes usos potenciales de estas macroalgas para su aprovechamiento. En el presente estudio se identificó un posible patrón en la presentación de este fenómeno para el periodo de mayo a noviembre del 2019 mediante una base de datos generada a partir de la plataforma Observatorio Ciudadano del Sargazo, que, contrario a lo que se hipotetizó, no estuvo determinado por la urbanización a lo largo de la costa de Quintana Roo sino que se asoció con la latitud del punto de muestreo: cuanto más al sur el punto de muestro, mayor la concentración del sargazo en las costas. Se determinó el perfil de fracciones de fibras y las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio (estos tres elementos por arriba de lo normal), plomo, sodio, potasio, fósforo, cloro y nitrógeno de *Sargassum spp* recolectado de la arena y del mar en seis puntos a lo largo de la costa de Quintana Roo en el mes de julio de 2019. La comparación de las medianas mediante la prueba Mann-Whitney señaló que no hubo diferencias entre el perfil químico del sargazo varado en la playa y el recolectado en mar adentro. Finalmente, se evaluó la capacidad de adsorción del sargazo en forma natural y compostado, utilizando fósforo como anión y potasio como catión y como sustrato, dos tipos de suelo (Andisol y Vertisol). Debido a la gran cantidad de potasio presente en el sargazo y a la capacidad de adsorción de fósforo de los suelos empleados en este estudio, no se pudo determinar si el sargazo (compostado o sin compostar) tiene la capacidad de adsorber fósforo o potasio. El sargazo puede ser un recurso útil para diferentes fines; sin embargo, las cantidades de ciertos elementos presentes en la estructura del alga que arriba a las costas del Caribe, como el arsénico, representan un factor limitante para su uso.

ABSTRACT

GALLEGOS MARTÍNEZ MELISA. Characterization of *Sargassum* spp from the Mexican Caribbean and its potential use as a biosorbent of ionic species (under the advice of Silvia Elena Buntinx Dios, MVZ, M.Sc., PhD, and Arturo Galvis Spinola, IA, M en C, Dr.)

Since 2011 research on sargassum has been on-going due to its massive arrivals to the Yucatan Peninsula and different potential uses for this macroalgae have been proposed. The objectives of the present study were: (1) To identify a possible pattern in the arrival that occurred from May to November 2019, using the database created by “Observatorio Ciudadano del Sargazo”. (2) To analyze the fiber profile and the concentration of arsenic, cadmium, mercury, lead, sodium, potassium, phosphorus, chlorine, and nitrogen in *Sargassum* spp samples collected in July 2019 from the shore and from the mass floating at sea at six points along the coast of the state of Quintana Roo. (3) To evaluate the adsorption capability of sargassum in its natural and composted forms, using phosphorus as a proxy for anions and potassium, for cations; the substrates were two different soils, Andisol and Vertisol. The latitude of the sampling point (not the size of the population) was associated with the presence of sargassum along the coast of Quintana Roo: the southernmost points had the greatest accumulation of the macroalgae. The concentrations of arsenic, cadmium and mercury were above the range considered tolerable. The Mann-Whitney test indicated that there were no differences in the chemical profile between the sargassum sampled from the shore and from the sea. Because of the elevated potassium concentration in sargassum and because the soils used had the capability of adsorbing phosphorus, it was not possible to determine if sargassum can adsorb these elements. Sargassum can be a useful resource, with multiple applications; however, the presence of certain elements, such as arsenic, in the structure of the sargassum arriving at the Yucatan Peninsula may limit those uses.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. El fenómeno de recale de sargazo en el Caribe mexicano

El sargazo involucrado en el fenómeno de recale que ha ocurrido en el Caribe mexicano es un conjunto de macroalgas marinas cafés, que pertenecen al género *Sargassum* (CAST, 2015; Sembera *et al.*, 2018; SAFMC, 2002) (figura 1A). Las principales especies, *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*, se originan en el Mar de los Sargazos, el cual es un ecosistema que crece en la superficie del mar en condiciones pobres en nutrientes (Szchey *et al.*, 2012) y es hábitat y sitio de reproducción y crianza de más de 145 especies de invertebrados y 127 especies de peces (CAST, 2015; Roe *et al.*, 2016). Estas macroalgas poseen en su estructura externa unas pequeñas vesículas llenas de gas (pneumatocistos), las cuales les confieren la capacidad de flotar (Brooks *et al.*, 2018; Gower y King, 2011) (figura 1B). Pueden crecer y dividirse sin contacto con la orilla o el fondo del mar, lo que las hace diferentes de otras especies de *Sargassum* spp, que crecen enraizadas en aguas poco profundas (Butler *et al.*, 1983). En aguas enriquecidas con nutrientes duplican su biomasa en aproximadamente 11 días, mientras que en aguas oceánicas del Mar de los Sargazos lo hacen en ≥ 50 días (Lapointe *et al.*, 2014). *Sargassum natans* y *S. fluitans* se reproducen de manera sexual mediante fragmentación vegetativa (Moreira y Suárez, 2002).



Figura 1. Sargazo presente en el mar del Caribe arribando a la costa de Puerto Morelos el 8 de julio de 2018. A: *Sargassum* spp; B: sargazo flotando.

A partir del año 2011, comenzó a presentarse un fenómeno inusual de arribazones de sargazo en cantidades masivas (recale) en las costas de África y Brasil (en la región del Atlántico Ecuatorial), en Centroamérica, el Caribe y en la región norte del Golfo de México y del Atlántico de EUA (Oviatt *et al.*, 2019; Sembera *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019) como puede apreciarse en la figura 2.

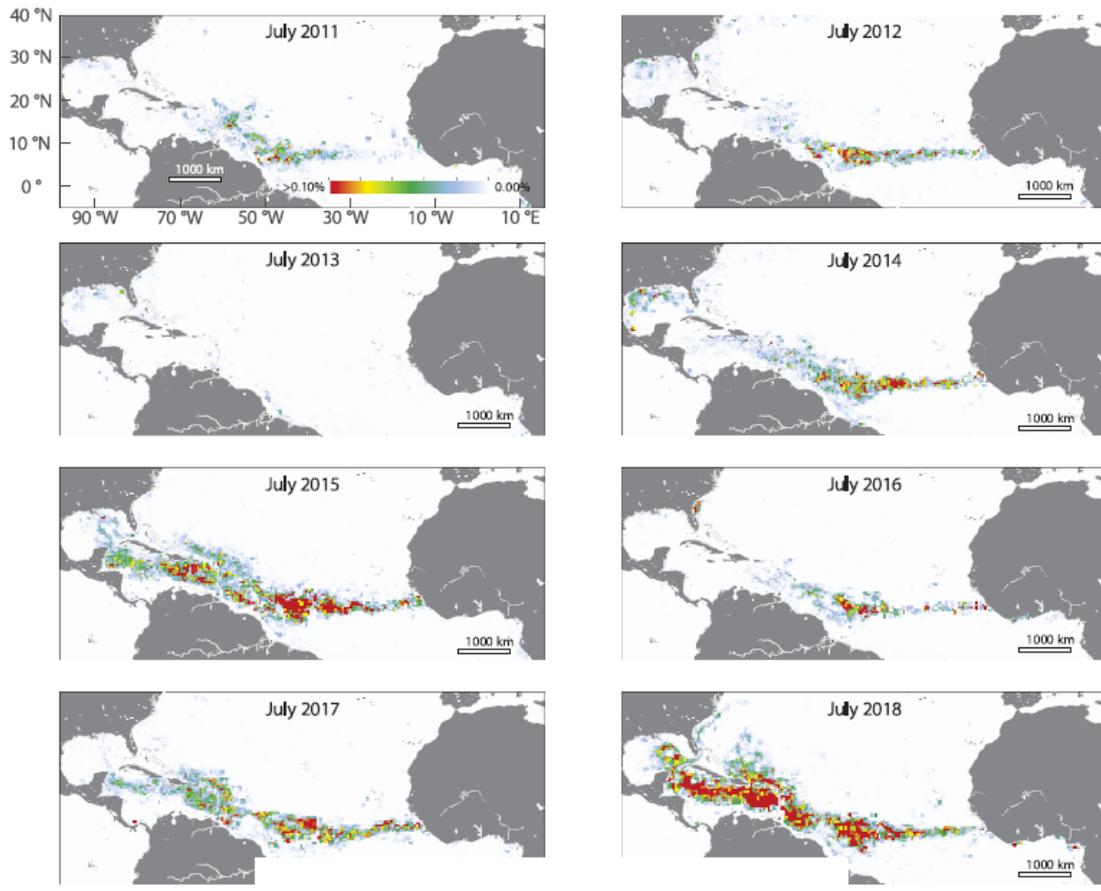


Figura 2. Densidad de *Sargassum* spp desde julio de 2011 a julio de 2018. El cinturón de sargazo se observa en todos los años excepto en el 2013. (Wang *et al.*, 2019)

El sargazo presente en el litoral del Caribe mexicano es conducido de manera habitual desde el Mar de los Sargazos, localizado en el Océano Atlántico Norte (figura 3), mediante cuatro corrientes oceánicas: Atlántico Norte, Canarias, Ecuatorial Norte y Golfo de México (Hodgkins *et al.*, 2017). Sin embargo, el sargazo implicado en el fenómeno de recale no sólo se conforma por especies provenientes del Mar de los Sargazos. En el año 2015, se encontró que la morfología de la especie dominante de sargazo difería entre la del Caribe

oriental, la de la corriente de las Antillas y la del sur del Mar de los Sargazos (Schell *et al.* 2015) y, un año después, se identificó mediante nuevas técnicas genéticas a la especie ecuatorial *Sargassum natans* (forma VIII) (Amaral-Zettler *et al.*, 2016), la cual ya había sido registrada en los años 30's y, aparentemente, siempre ha estado presente en esa región, mientras que su presencia es casi nula en el Mar de los Sargazos (Széchy *et al.*, 2012). Se cree que esta especie pudo haber sido inoculada por un huracán (Oviatt *et al.*, 2019) desde de la Región de Recirculación del Atlántico Norte (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016).

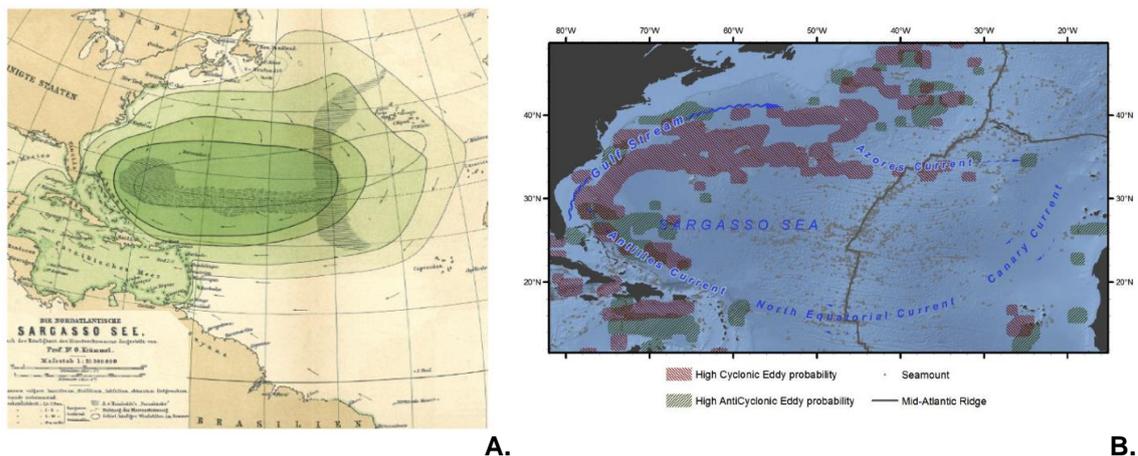


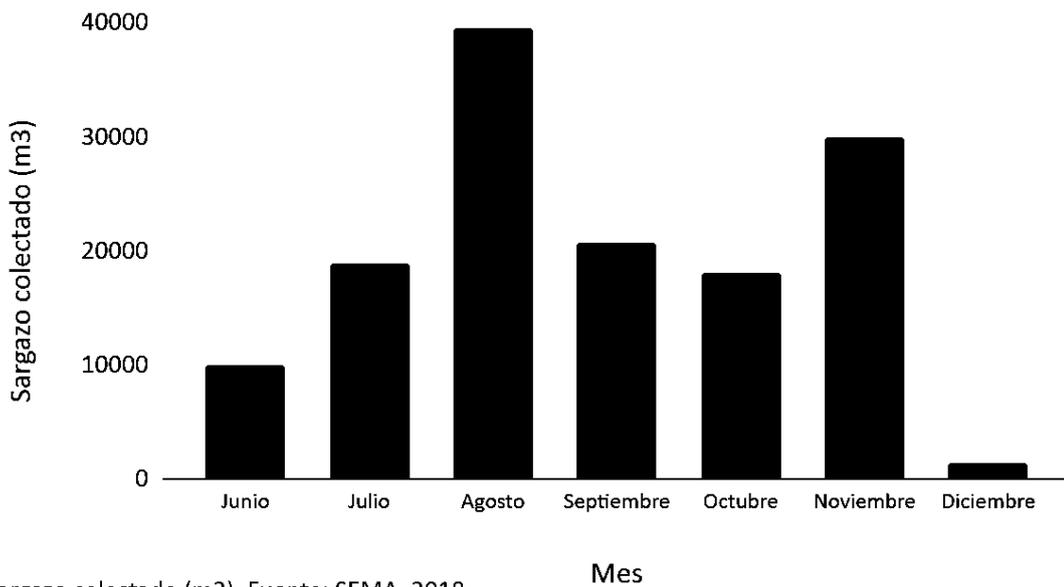
Figura 3. Localización del Mar de los Sargazos. (a) Descripción histórica. (b) Descripción actual con corrientes marinas. (Ardrón- Halpin *et al.*, 2011)

Los estudios de este fenómeno mediante modelos de análisis de imágenes satelitales, junto con otros modelos de información retrospectiva de sitios de arribazón de sargazo (Johnson *et al.*, 2013), sugieren que la región del Atlántico Ecuatorial es el punto de origen probable de las afluencias masivas de sargazo en el Caribe desde 2011 (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016; Putman *et al.*, 2018). Asimismo, en un estudio en el que se compararon las concentraciones de sargazo entre las del Caribe y las del Mar de los Sargazos durante los mismos periodos, no se hallaron diferencias significativas en la variación de las concentraciones en el Mar de los Sargazos, pero sí en la variación de las concentraciones del Caribe, lo que permitió concluir que las afluencias masivas del Caribe no provenían del Mar de los Sargazos (Schell *et al.*, 2015). De acuerdo con Dreckmann y Senties (2013), la periodicidad y la cantidad de los

arribazones en Quintana Roo se encuentran fuertemente relacionadas con los huracanes y ciclones característicos de la zona.

Se sabe que pequeñas cantidades de materia algal en la playa son beneficiosas porque son hábitat de invertebrados, fuente de alimento de otras plantas y aves y ayudan a estabilizar las playas y dunas (Colombini *et al.*, 2003; Doyle y Franks, 2015); sin embargo, cuando llega a la costa de manera masiva, se torna perjudicial (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016), provocando consecuencias graves. En el aspecto ambiental, este fenómeno ha generado un proceso de eutrofización en la costa, que ha afectado a pastos nativos y corales (Van Tussenbroeka *et al.*, 2017) y ha interferido con el ciclo natural de anidación de tortugas marinas (Maurer *et al.*, 2015); se han contaminado otros ecosistemas, como manglares y la selva, al desechar las algas en estos lugares, y al remover el sargazo con maquinaria, además de destruir nidos y crías de tortugas marinas, se compacta la arena de la playa, ocasionando erosión: cerca de 60% del volumen de la biomasa removida es arena (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). En el ámbito económico, se ha reducido la actividad turística (base de de la región), tanto por el mal aspecto que produce en el paisaje como por el mal olor que produce su descomposición; la industria pesquera (segunda actividad económica más importante) se ha visto afectada negativamente (Fernández *et al.*, 2017) y la limpieza de las playas ha representado un costo elevado tanto para el sector público como para el sector privado (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016): tan sólo para el año 2018, se estimó un costo por limpieza de \$210 millones de dólares para las costas de todo el Caribe (Oviatt *et al.*, 2019), mientras que para las costas de Quintana Roo, la cifra fue de \$322.5 millones de pesos (El Universal, 2019), con más de 138 mil m³ de sargazo recolectado (SEMA, 2018; figura 4) y el empleo de más de 4 mil 400 trabajadores para remover el sargazo de las playas (SECTUR-CONACYT, 2018).

Por otro lado, la descomposición de la biomasa acumulada de sargazo en la playa y en sus alrededores también tiene implicaciones en la salud pública (Doyle y Franks, 2015), ya que durante ese proceso de descomposición se forma ácido sulfhídrico, que puede producir lesiones en la piel, así como problemas respiratorios al ser inhalado (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). La exposición a niveles bajos, pero crónicos de H₂S (100-1000 ppb) induce problemas en los sistemas nervioso, respiratorio, muscular y circulatorio (Legator *et al.*, 2001).



Sargazo colectado (m³). Fuente: SEMA, 2018.

Figura 4. Sargazo colectado (m³) durante el 2018. Fuente: SEMA.

2. Eutrofización y el sargazo

La eutrofización es el proceso por medio del cual un cuerpo de agua se enriquece con nutrientes disueltos (nitrógeno y fósforo, principalmente), que estimulan el sobrecrecimiento de microalgas acuáticas, las cuales consumen eventualmente el oxígeno disuelto hasta agotarlo y producen CO₂, que disminuye el pH del agua, acidificándola y provocando efectos indeseables, como la pérdida de las funciones primarias del ecosistema, lo que puede ocasionar su degradación (Marshall & Wilcox, 2015; NOAA, 2017; Nixon, 1995; Richardson y Jørgensen, 1996). Además del enriquecimiento de nutrientes en el agua, los principales factores que influyen en este proceso de eutrofización son: la hidrodinámica, la temperatura, la salinidad, la biodiversidad y la actividad microbiana presentes (Yang *et al.*, 2008).

Como ya se mencionó anteriormente, los arribazones masivos de sargazo están contribuyendo de manera importante al fenómeno de eutrofización de las costas caribeñas (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). Estos arribazones se han visto favorecidos por el incremento en la temperatura superficial del océano

(Doyle y Franks, 2015; Wang *et al.*, 2019). En el año 2015 se registraron las temperaturas más altas a nivel global en los últimos 135 años (NOAA, 2016), lo que coincidió con la afluencia y acumulación masiva notable de sargazo que se registró en la costa del Caribe mexicano ese mismo año (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016; Van Tussenbroeka *et al.*, 2017).

En la región noreste del Golfo de México también se han observado, en imágenes satelitales, formaciones estacionales de matas flotantes de sargazo durante la primavera, que, por su localización, pueden estar asociadas a las descargas del Río Mississippi, las cuales pueden ser fuente de nutrientes para el sargazo que pasa por esta área en su trayecto habitual de retorno al Atlántico Norte (Gower y King, 2011; Lapointe, 1995).

La presencia masiva de sargazo en el Caribe se atribuye al alto contenido de nutrientes provenientes de las descargas de aguas de la Región de Recirculación del Atlántico Norte y la cuenca del Amazonas (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016), favorecidas por el cambio de corrientes en la costa (que cambian el flujo y distribución de nutrientes presentes en la columna de agua), precipitación, inundaciones y huracanes (Oviatt *et al.*, 2019; Gower *et al.* 2013). En las costas de Quintana Roo existe evidencia de contaminación por descargas de aguas clandestinas, infiltración de fosas sépticas o mal tratamiento de aguas residuales (Aldape-Pérez, 2010; Espinosa-Bouchot, 2011). Además, el desarrollo urbano acelerado que se ha visto en los últimos 40 años, junto con la falta de infraestructura y el mal manejo de aguas residuales, provocan gran estrés sobre el acuífero costero (López, 2016) y se degrada la calidad del agua (Aguilar-Martínez, 2015; Carruthers *et al.*, 2005; Hernández-Terrones *et al.*, 2011; Null *et al.*, 2014), por lo que en esta región de eutrofización costera se puede estar contribuyendo o potencializando la presencia de la biomasa algal en la costa (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). Aunado a esto, la morfología cárstica (formación caliza bajo la acción erosiva del agua con alta tasa de infiltración) de la Península de Yucatán, hace a sus sistemas acuíferos altamente vulnerables a la contaminación por nutrientes de origen antropogénico, cuyas filtraciones y descargas puntuales de aguas subterráneas que desembocan en la costa, pueden generar un impacto en el ecosistema acuático, dependiendo de la concentración de sus componentes y de otras condiciones hidrológicas del sitio,

como la temperatura, el tiempo de residencia del agua en la costa, las mareas y las corrientes costeras (Piriou y Menesfuen, 1992; Burkholder *et al.*, 1994).

En las aguas oceánicas, el nitrógeno inorgánico, el fósforo y el hierro o silicio son los elementos que limitan el crecimiento de la productividad primaria: la base de la red de la alimentación marina (Bristow *et al.*, 2017), siendo el nitrógeno el nutriente limitante. Sin embargo, en el caso de un medio cárstico, el fósforo se convierte en el limitante, ya que generalmente se encuentra en menor proporción con respecto al nitrógeno debido a la adsorción de fosfatos en el sedimento de carbonato de calcio (Fourqurean *et al.*, 1993; Zimmerman *et al.* 1985; Lapointe *et al.* 1990; Corredor *et al.* 1999). Algunas investigaciones señalan que los sustratos con nitrógeno orgánico disuelto son fácilmente utilizados por macroalgas, en particular, *Sargassum spp* (Vonk *et al.*, 2008; Van England *et al.*, 2011) y dentro de estas fuentes de nitrógeno, la urea se ha identificado como el principal fertilizante agrícola que contribuye a la eutrofización costal (Gilbert *et al.*, 2006).

Se ha observado que el nivel de nitrógeno y otros nutrientes en el ecosistema costero es más alto en los sitios de mayor desarrollo urbano (Carruthers *et al.*, 2005), por lo que se podría suponer que los puntos de mayor intensidad de recalde de sargazo están relacionados con esos sitios de alta urbanización.

3. Usos potenciales del sargazo

Debido al alto impacto que han generado en las playas estas grandes cantidades de biomasa algal, se han propuesto distintas alternativas para su aprovechamiento, de modo que no se deseche en cualquier sitio, contribuyendo, así, a la mitigación del impacto ambiental (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). Dentro de estas alternativas están:

- rehabilitación de dunas y playas erosionadas (CAST, 2015; Doyle y Franks, 2015)
- producción de biocombustibles (Borines *et al.*, 2013; Yokoyama *et al.*, 2007) o bioplásticos (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016)

- alimentación ganadera (fuente alternativa forrajera; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016)
- elaboración de fertilizantes (Moreira *et al.*, 2013; Marín *et al.*, 2009; Wischnat S, 2013; CAST 2015; Sembera *et al.*, 2018)
- elaboración de ladrillos (Excelsior, 2019), suelas de zapatos (El Universal (b), 2019), libretas (El Financiero, 2018)
- como insumo para las industrias cosmetológica y médica (Barsanti y Gualtieri, 2006)

Para todos los casos de aprovechamiento, se sugiere coleccionar las algas antes de que se mezclen con arena (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). El posible uso del sargazo como fuente de forraje debe investigarse con detenimiento, pues las algas marinas tienen la capacidad de adsorber iones metálicos –como plomo, cadmio, mercurio y arsénico– (Davis *et al.*, 2000, Davis *et al.*, 2003, Volesky *et al.*, 1995), lo cual puede implicar una restricción para usos agroalimentarios si estos se encuentran por arriba de sus límites permisibles (Fernández *et al.*, 2017).

Las algas marinas, por lo general, no contienen nitrógeno ni fósforo en cantidades suficientes como para ser utilizadas como fertilizantes, pero contienen minerales traza y hormonas que estimulan el crecimiento, florecencia y germinación de las semillas de plantas e incrementan la resistencia de éstas a las enfermedades (Zodape, 2001). El compost es un fertilizante rico en nutrientes y tiene el potencial de rehabilitar suelos (Klock, 2000; Panda-Nayak, 2012), por lo que su elaboración con *Sargassum spp* como recurso podría ser una excelente alternativa de aprovechamiento. En un estudio se analizó la calidad de un compost de sargazo, el cual tuvo un aporte de nutrientes similar al de los fertilizantes que se utilizan comúnmente en la industria hortícola y características dentro de los rangos óptimos para un compost de acuerdo con lo establecido por el U.S. Composting Council (2002) (Sembera *et al.*, 2018).

4. La bioadsorción como biotecnología para rehabilitación de suelos

Las algas marinas poseen la capacidad de adsorber iones metálicos en su superficie. La adsorción es un proceso en el que un ion o molécula se adhiere fisicoquímicamente a otra molécula componente de una superficie, la cual generalmente es un grupo funcional (como carboxilo, amino, hidroxilo, fosfato); si esta superficie es de origen biológico, como una pared celular, entonces se habla de bioadsorción (Areco & Dos Santos, 2011; Michalak *et al.*, 2013; Cuizano y Navarro, 2008).

El término biosorción se utiliza en relación a la captación de iones metálicos que lleva a cabo una biomasa muerta o viva (Abbas *et al.*, 2014) a través de mecanismos fisicoquímicos, como la adsorción o el intercambio iónico. El proceso de biosorción involucra una fase sólida (biosorbente) y una fase líquida (disolvente – la cual suele ser agua–), que contiene las especies disueltas que van a ser sorbidas (sorbato), como iones metálicos (Cuizano y Navarro, 2008).

La biosorción es una alternativa técnicamente viable y se considera una tecnología limpia para la biorremediación de aguas residuales o de desecho de actividades industriales (Cuizano y Navarro, 2008), que en la actualidad es uno de los problemas ambientales más grandes (Abbas *et al.*, 2014). Las algas se producen naturalmente en grandes cantidades, yaciendo a las orillas de las playas y, como se consideran material de desecho, su uso como biotecnología biosorbente es ventajoso económicamente (Cuizano y Navarro, 2008).

Esta tecnología de biosorción también se utiliza para la biorremediación de suelos y se estudia con diferentes modelos, como las isotermas de adsorción Langmuir, Scatchard y Freundlich (Cortés-Páez *et al.*, 2014). Las isotermas de adsorción indican cómo las moléculas de la fase líquida se van distribuyendo en el sorbente mientras son adsorbidas hasta que el proceso de adsorción alcanza el estado de equilibrio en condiciones controladas y manteniendo constante el volumen del sorbato y la cantidad de sorbente (Okeola y Odebunmi 2010). El modelo más utilizado por los investigadores para estudiar el fenómeno de adsorción es el de Adsorción de Langmuir (Ding *et al.*, 2008), el cual supone que: (1) la superficie es homogénea, (2) tiene un número específico de sitios donde se puede adsorber una molécula, es decir, cuando todos los sitios se ocupan, no

es posible continuar la adsorción (el sistema se satura), (3) el calor de adsorción es independiente del grado de recubrimiento y (4) todos los sitios disponibles son equivalentes y la energía de las moléculas adsorbidas es independiente de la presencia de otras moléculas (Ortega y Núñez, 2012).

Con el objetivo de contribuir a este tipo de biorremediación y pensando en el sargazo como una posible alternativa de mejoramiento de la calidad del suelo, que, además, contribuiría con nutrientes, se elaboró un compost con sargazo para evaluar si este preservaba la capacidad de adsorción que poseen estas macroalgas.

HIPÓTESIS

1. El recale del sargazo en las costas de Quintana Roo en el año 2019 será mayor en las áreas más urbanizadas de la región.
2. El sargazo tiene la capacidad de adsorber iones metálicos, por lo tanto, el compost de sargazo puede preservar esta capacidad de adsorción.

OBJETIVOS GENERALES

1. Determinar si el fenómeno de recale de *Sargassum* spp en la región del Caribe mexicano durante 2019 estuvo relacionado con la urbanización.
2. Determinar la viabilidad de esta macroalga como recurso para la elaboración de compost con capacidad biosorbente de elementos metálicos del suelo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar:
 - Si existió un patrón de distribución en la intensidad del fenómeno de recale de *Sargassum* spp durante el año 2019.
 - Si los lugares de mayor urbanización en la región del Caribe mexicano están relacionados con los puntos de mayor intensidad de recale.
 - Si existe una asociación entre la presencia de arsénico, cadmio, plomo y mercurio (elementos iónicos asociados a las descargas de aguas residuales al mar) en la biomasa del sargazo varada en la arena y la de la que flota a la orilla del mar.
2. Analizar:
 - El perfil de fracciones de fibras y ciertos aspectos del perfil químico del *Sargassum* spp que recaló en el Caribe mexicano en el mes de julio de 2019.
 - La capacidad del compost de sargazo para biosorber elementos metálicos del suelo mediante el uso de isotermas.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. Caracterización del patrón de distribución del recale de sargazo en la costa de Quintana Roo durante el año 2019

Se elaboró una base de datos con los registros generados por la plataforma Observatorio Ciudadano del Sargazo (<https://www.viajefest.com/sargazo-en-quintana-roo/>), la cual fue desarrollada para monitorear de manera cualitativa el estatus de la intensidad del recale de sargazo en las playas de Quintana Roo, a partir del mes de mayo (primeros registros) y hasta el mes de noviembre, que es cuando se reduce el fenómeno (Dreckmann y Senties, 2013), en 20 puntos diferentes a lo largo de la costa de Quintana Roo (de norte a sur): Holbox, Isla Contoy, Isla Blanca, Isla Mujeres, Puerto Cancún, Playa Tortugas, Playa Delfines, Riviera Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen 88, Playa Mimitas, Xcaret, Cozumel Oeste, Cozumel Este, Playa Xpu Ha, Akumal, Xcacel, Tulum, Mahahual y Xcalak (figura 5).

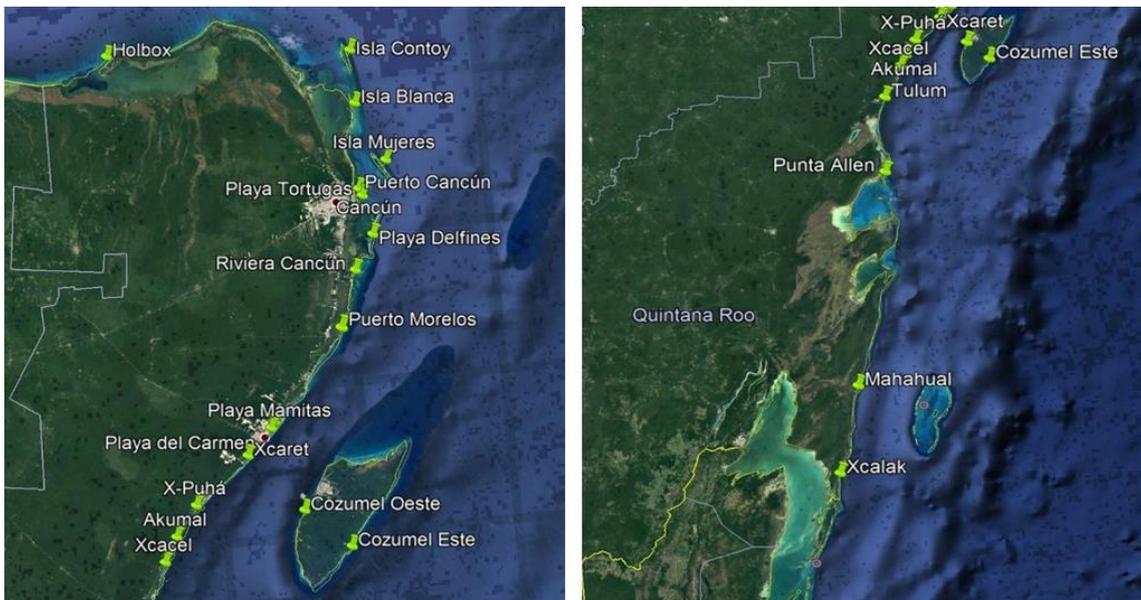


Figura 5. Puntos de muestro en la costa de Quintana Roo.

Derecha: región norte. Izquierda: región sur.

La clasificación de la intensidad de recale del sargazo corresponde a: sin sargazo, con poco sargazo, con sargazo moderado, con sargazo abundante y con sargazo excesivo. Con el objetivo de realizar un análisis descriptivo de esta

información y hallar algún posible patrón de distribución, se estableció una escala del 0 al 4 para esta variable, correspondiendo el 0 al estatus “sin sargazo” y de manera creciente hasta el 4, que representa al estatus “con sargazo excesivo”.

2. Urbanización en la región del Caribe mexicano y su relación con los puntos de mayor intensidad de recale

Debido a la dificultad para obtener información confiable sobre las cantidades de aguas residuales vertidas al mar a lo largo de la costa de Quintana Roo o sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales, se utilizó la variable “Urbanización” como una variable *proxy* o que se aproxima a lo que podría considerarse como un proceso de eutrofización en la zona.

Los sitios de alta urbanización o alta actividad turística, de acuerdo con SEDETUR, corresponden a: Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Cozumel, Isla Mujeres, Tulum, Riviera Maya, Holbox y Mahahual. Sin embargo, para establecer el nivel de urbanización en los puntos seleccionados para la base de datos, se consideraron las variables “Número de viviendas habitadas” y “Población” de la base de datos del INEGI (2010, 2015), cuyos valores se presentan en el cuadro 1. Solo se encontró información disponible para catorce de los veinte puntos en estudio.

Cuadro 1. Nivel de urbanización en Quintano Roo (INEGI, 2010-2015).

A.

Nivel de Urbanización	Población	Viviendas particulares habitadas
Nula	0	0
Baja	<= 10,000	<= 1,000
Intermedia	>10,000<100,000	>1,000<50,000
Alta	> 100,000	> 50,000

B.

Punto de muestreo	Población	Nivel de urbanización	Viviendas particulares habitadas	Nivel de urbanización
Holbox	1,541	Baja	417	Baja
Isla Contoy	0	Nula	0	Nula
Isla Blanca	3	Baja	4	Baja
Cancún	608,640	Alta	196,349	Alta
Isla Mujeres	13,386	Intermedia	3912	Intermedia
Puerto Morelos	89,810	Intermedia	2,980	Intermedia
Cozumel	79,535	Intermedia	24,147	Intermedia
Playa del Carmen	154,050	Alta	54,455	Alta
Xpu Ha	30	Baja	13	Baja
Akumal	1368	Baja	393	Baja
Xcacel	22	Baja	3	Baja
Tulum	18,521	Intermedia	5,526	Intermedia
Mahahual	1,347	Baja	465	Baja
Xcalak	371	Baja	107	Baja

A: intervalos para clasificar el nivel de urbanización.

B: nivel de urbanización de 14 puntos seleccionados.

3. Caracterización química del *Sargassum* spp y su relación con la urbanización

3.1 Muestreo

Se colectaron dos muestras de sargazo en seis puntos distribuidos a lo largo de la costa de Quintana Roo, de norte a sur: (1) Cancún (Playa Delfines), (2) Puerto Morelos, (3) Playa del Carmen, (4) Tulum, (5) Reserva de Sian Ka'an (Punta Allen) y (6) Mahahual (figura 6). Para los seis puntos, una muestra se tomó del sargazo varado en el mar frente a la costa (de una zona con sargazo de color lo más amarillo claro posible) y la otra, del que estaba apilado sobre la arena (figura 7, A-E). Cada muestra pesó 1 kg en base húmeda y se colocó en un costal de rafia con tejido abierto para permitir su aireación y escurrimiento (figura 7F).

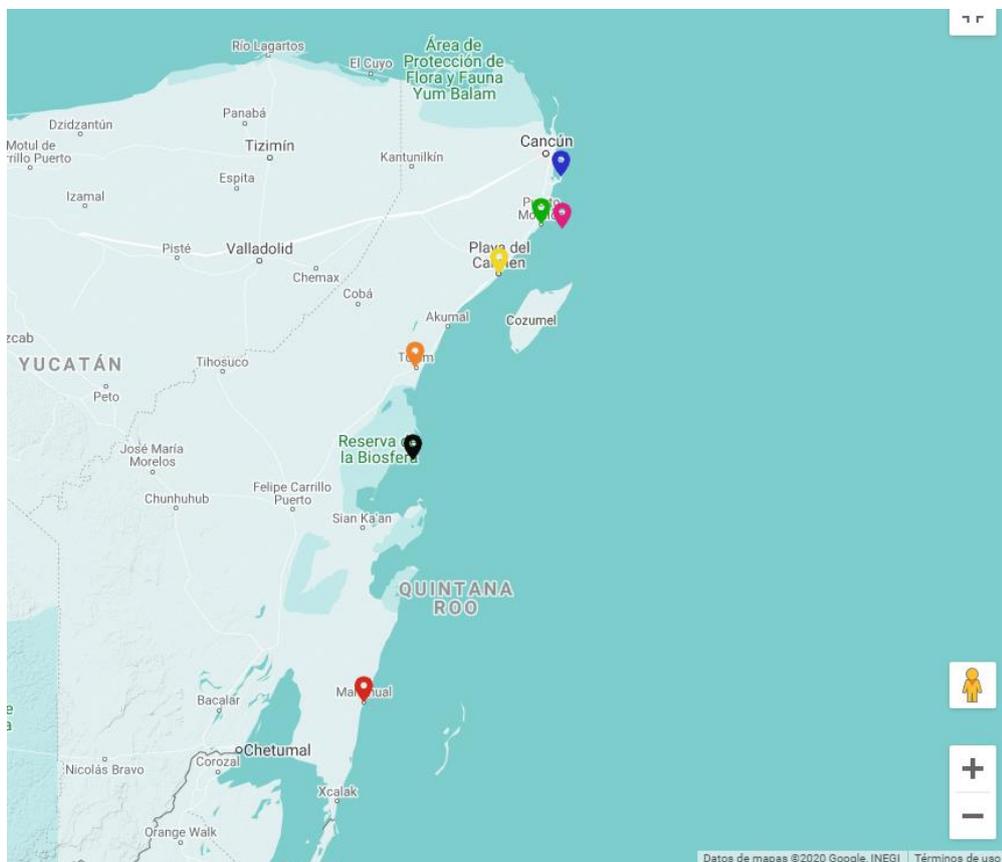


Figura 6. Puntos de muestreo de sargazo en la costa de Quintana Roo: Playa Delfines (Cancún), Puerto Morelos, Altamar, Playa del Carmen, Tulum, Punta Allen (Reserva de Sian Ka'an) y Mahahual.

Asimismo, se colectaron 10 kg de sargazo en base húmeda en mar abierto. Esta muestra se tomó en el punto lo más distante posible de la costa (5 km, aproximadamente), en Puerto Morelos (figura 7G). Una vez obtenida, también se colocó en costales de rafia con tejido abierto para permitir su ventilación y el escurrimiento del agua. El criterio para la colección del sargazo en altamar fue que presentara coloración amarillo-clara, brillante (casi dorada) y sobresaliera a flote del agua. Esta muestra, además de someterse a la caracterización que se describe a continuación, se utilizó para la elaboración del compost.

3.2 Preparación de las muestras

Cada muestra colectada se sometió a un proceso de pre-secado lo más pronto posible para preservarla adecuadamente; de esta manera se conservaron sus propiedades y evitó su descomposición:

- A. La muestra se extendió sobre papel estraza para favorecer la ventilación y se colocó en un sitio con circulación de aire y a temperatura ambiente (21-32°C), para evitar la proliferación de microorganismos anaeróbicos que puedan promover la putrefacción de la muestra (figura 8).
- B. El sargazo se cubrió con papel estraza para resguardarlo de la luz solar directa y evitar alteraciones en su composición.
- C. La muestra se volteó al menos cuatro veces por día para favorecer la aireación y, por lo tanto, el secado.
- D. Las muestras pre-secadas y debidamente identificadas se transportaron en avión y se llevaron directamente al Laboratorio de Agua-Suelo-Planta-Ambiente del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, para su posterior procesamiento.
- E. En el laboratorio se registró el peso fresco remanente de cada muestra, luego se colocaron en bolsas de papel de estraza previamente perforadas, procurando que quedaran lo suficientemente holgadas para evitar su compactación y permitir el libre paso del aire (figura 9).
- F. La deshidratación completa del sargazo se llevó a cabo en un horno con circulación forzada de aire a 75°C hasta alcanzar peso constante.



Figura 7. Zonas de muestreo de sargazo en la costa de Quintana Roo.

A, Playa Delfines-Cancún; B, Tulum; C, Punta Allen-Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an; D, Mahahual;
 E, Puerto Morelos; F, altamar; G, Playa del Carmen, directo de la sargacera; H, varado.



Figura 8. Muestra de sargazo transportada en costal de rafia, mostrando el tejido abierto (izquierda), y extendida para el pre-secado(derecha).



Figura 9. Muestras en bolsas de papel perforadas y colocadas en el horno de secado.

3.3 Metodología experimental

A cada una de las muestras se le realizaron las siguientes determinaciones:

- Perfil de fibras por el método de Van Soest (Van Soest *et al.*, 1991)
 - Por triplicado para cada punto muestreado, tanto de alga varada en el mar como de alga varada en la arena. El sargazo colectado de altamar se dividió en 11 muestras de manera aleatoria y a todas se les hizo el análisis (Anexo III).

- Iones metálicos (arsénico, cadmio, mercurio, plomo; método oficial 996.17, AOAC 2019), sodio y potasio (método oficial 953.01) mediante espectroscopía de absorción atómica (AOAC, 2019)
- Nitrógeno (método oficial 2001.11, AOAC, 2019)
- Fósforo (espectrofotometría de UV visible; método oficial 965.17, AOAC 2019)
- Cloro (método de Mohr; Nielsen, 1998)

4. Compost de *Sargassum* spp y evaluación de su capacidad de adsorción de iones metálicos

4.1 Elaboración del compost

El compost se elaboró con la muestra obtenida en altamar, que se procesó según lo especificado en el inciso 3.2. El proceso de compostaje se realizó de manera *in vitro*, bajo condiciones controladas de temperatura (30°C) y circulación de aire a flujo constante durante 2 semanas.

Se prepararon 12 tratamientos en recipientes plásticos con tapa (figura 10), que consistieron en mezclas de sargazo y un tipo de suelo: andosol (que tiene alta afinidad por los aniones) o vertisol (cuya afinidad se inclina a los cationes) (Cortés-Páez *et al.*, 2014; Acosta *et al.*, 2020), en 6 proporciones diferentes (cuadro 2), con peso total de 50 g, tamaño de partícula del sargazo de máximo 0.84 mm (cuadro 3) y cada tratamiento se hidrató hasta llegar a su capacidad de campo (cuadro 4).



Figura 10. Tratamientos de mezclas de sargazo con suelo para realizar el compost *In vitro*.

Cuadro 2. Proporciones de las mezclas de sargazo con dos tipos de suelo, andosol y vertisol para los doce tratamientos (tx).

Tx	Sargazo (%)	Andosol (%)	Tx	Sargazo (%)	Vertisol (%)	Cantidades (g)	
						Suelo	Sargazo
1	100	0	7	100	0	0	50
2	80	20	8	80	20	10	40
3	60	40	9	60	40	20	30
4	40	60	10	40	60	30	20
5	20	80	11	20	80	40	10
6	0	100	12	0	100	50	0

Cuadro 3. Registro de pesos al inicio del proceso de compostaje (14/11/2019).

Pesos iniciales (g)				
Tx	A	B	C	D
1	39.130	41.12	90.96	151.18
2	39.305	41.275	91.161	145.78
3	40.650	42.625	92.465	142.58
4	39.524	41.501	91.408	136.49
5	40.156	42.131	91.986	130.88
6	39.395	41.36	91.281	126.35
7	39.375	41.336	91.261	151.4
8	39.265	41.235	91.116	143.35
9	40.385	42.353	92.2	137.17
10	40.247	42.216	92.102	136.26
11	39.422	41.392	91.268	119.38
12	39.388	41.363	91.271	111.3

Tx = tratamiento

A = tapa + filtro + recipiente en seco

B = A + 2 ml agua destilada

C = A + B seco

D = A + B + C + agua a capacidad de campo

Cuadro 4. Cantidad de agua requerida para llevar a los diferentes sustratos a sus respectivas capacidades de campo.

Sustrato	Capacidades de campo aproximadas	Agua destilada agregada
Vertisol	40% en peso de suelo de agua	20 ml
Andosol	70% en peso de suelo de agua	35 ml
Sargazo	120% en peso de suelo de agua	60 ml

Diariamente, una vez al día, los tratamientos se pesaron (recipiente cerrado) y ventilaron, destapándolos durante un minuto aproximadamente, con la finalidad de monitorear la humedad. En cada ocasión se calculó la pérdida de humedad y cuando se llegó al 20% de humedad, todos los tratamientos se rehidrataron por aspersión con atomizador hasta llegar a sus pesos iniciales respectivos (Anexo II), con el objetivo de mantener las condiciones óptimas de humedad requeridas para el proceso de compostaje.

Después de las dos semanas de compostaje, los tratamientos se sometieron a un proceso de secado total en una estufa a 30°C, durante 5 días, para el posterior análisis de adsorción (figura 11).



Figura 11. Secado final de los tratamientos de compost *in vitro* en estufa con condiciones controladas.

4.2 Capacidad de adsorción iónica del compost de sargazo

Se realizó una técnica de adsorción adaptada de Fox y Kamprath (1970):

1. Se pesaron 2.5 g de cada tratamiento y de sargazo sin compostar (una repetición) y se colocaron en tubos Falcon con capacidad de 50 mL.
2. Se prepararon seis disoluciones de KH_2PO_4 a concentraciones de 0, 25, 50, 100, 200 y 400 mg/L de P con CaCl_2 0.01 M como matriz. De

esta manera, el indicador de cationes fue el potasio, mientras que el indicador de aniones fue el fósforo.

3. A cada tubo del inciso 1 se le agregaron 25 ml de disolución del inciso 2, de modo que a cada tratamiento le correspondieron 6 tubos, uno por cada concentración de la disolución, dando un total de 84 tubos (72 tubos de los 12 tratamientos y 12 tubos de sargazo sin compostar con la repetición) (figura 12).
4. A todos los tubos se les agregaron 2 gotas de tolueno para inhibir el crecimiento de microorganismos durante la incubación.
5. Una vez cerrados los tubos, se agitaron a 160 rpm durante 30 minutos en una agitadora longitudinal recíproca de vaivén e inmediatamente se colocaron en una incubadora a 25°C durante tres días (figura 12).
6. Durante el periodo de incubación, el proceso de agitación se repitió dos veces al día (9:00 y 14:00 h).
7. Después de la incubación, los tubos se centrifugaron durante 10 min a 3500 rpm y los sobrenadantes se filtraron para dejarlos libres de sedimentos (figura 13).
8. Con cada sobrenadante se realizó una primera dilución 1:4, que se utilizó para realizar las mediciones de fósforo y potasio solubles.
9. Las mediciones de fósforo soluble se realizaron mediante colorimetría en un espectrofotómetro, de acuerdo con la metodología establecida en la NMX-AA-029-SCFI-2001 (figura 14), mientras que las mediciones de potasio soluble se realizaron mediante flamometría (figura 15).

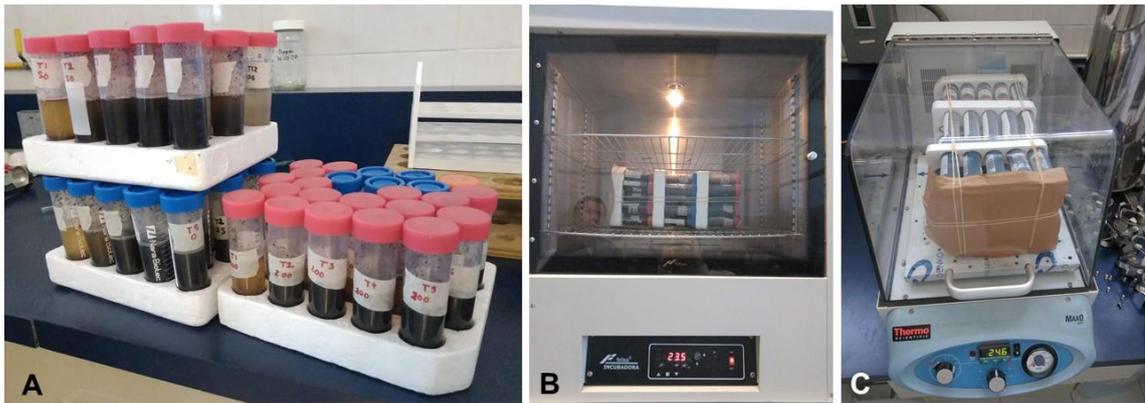


Figura 12. Preparación de las muestras para la prueba de adsorción.

- A: tubos con mezclas de sargazo y compost de sargazo y sus respectivas disoluciones
- B: incubación de los tratamientos
- C: agitación en vaivén de los tratamientos



Figura 13. Centrifugación (izquierda) y filtración de sobrenadantes (derecha) de los tubos.

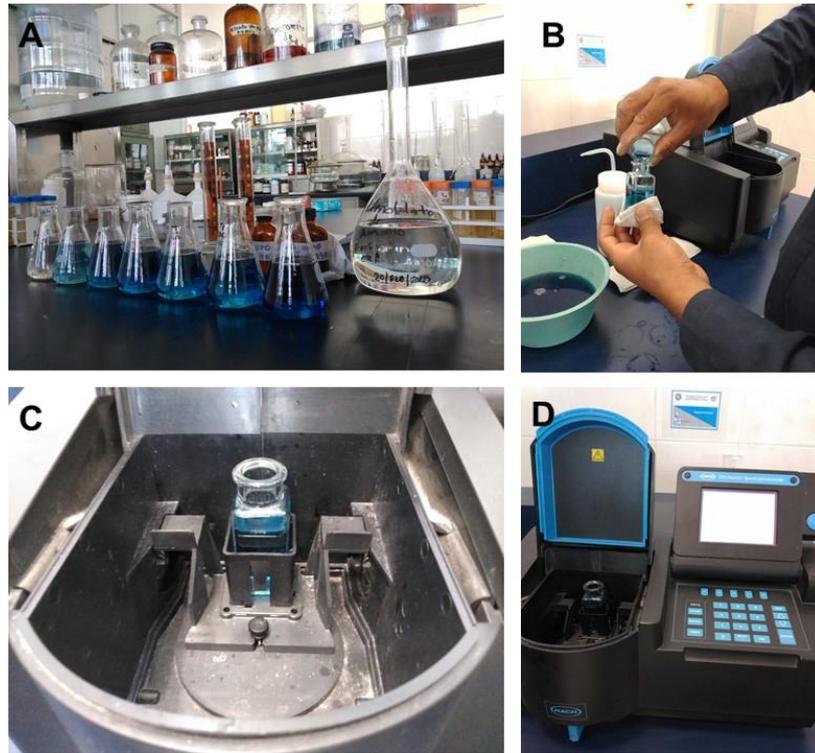


Figura 14. Mediciones de fósforo soluble.

A: disoluciones preparadas con sus respectivos reactivos; B: preparación de una muestra para su lectura
 C: muestra colocada en el espectrofotómetro; D: equipo de espectrofotometría.



Figura 15. Mediciones de potasio soluble.

Preparación de disoluciones (izquierda) y lectura en el flamómetro (derecha).

5. Análisis estadístico

Para analizar la base de datos de intensidad de recale, se calculó la moda por cada punto para cada mes y se graficaron todos los resultados. Las modas mensuales se correlacionaron con el nivel de urbanización por cada punto seleccionado, de acuerdo con la información disponible, y con las latitudes respectivas de los puntos de muestreo (correlación de Spearman).

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965) para determinar si los elementos del perfil químico del sargazo varado en la arena y del varado en el mar presentaban distribución normal. Dado que no se obtuvo una distribución normal para todos los casos, se realizó posteriormente una prueba U de Mann-Whitney con el objetivo de comparar las medianas y determinar si había diferencias significativas entre los grupos de sargazo (Mann y Whitney, 1947). Se utilizó el programa de cómputo Excel para todas las pruebas estadísticas.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

1. Caracterización del patrón de distribución del recale de sargazo en la costa de Quintana Roo para el año 2019 y su relación con la urbanización

El Anexo I muestra la base de datos elaborada con los registros obtenidos del Observatorio Ciudadano del Sargazo y las modas mensuales de la intensidad apreciada de recale en los 20 puntos seleccionados a lo largo de toda la costa, de norte a sur, para el periodo mayo-noviembre del 2019, las cuales pueden apreciarse en la figura 16.

Con base en estos resultados, pareció existir un patrón que fue independiente de la urbanización, como puede apreciarse en el cuadro 5 y como se corrobora por la ausencia de correlación ($\rho = 0.05$ a 0.27 , $P > 0.05$) entre las modas y la urbanización (cuadro 6). Este patrón sugiere, más bien, que la intensidad apreciada de recale fue mayor en la región centro y sur en los meses de mayo, junio y julio y fue disminuyendo conforme transcurrió el tiempo. En la región norte, el fenómeno inició con una menor intensidad que en la región sur y centro, manteniéndose, en general, en intensidades más bajas comparadas con los puntos localizados del centro hacia el sur de la costa durante todo el periodo de presentación del recale. Para el caso de la Isla de Cozumel, en la costa este el fenómeno se apreció en mayor intensidad en comparación con la costa oeste y en ambos casos, fue disminuyendo gradualmente hasta desaparecer (figura 17). El análisis de correlación entre la latitud y las modas mensuales arrojó la matriz de correlación que aparece en el cuadro 7. Entre los meses de mayo a septiembre los valores de ρ oscilaron entre -0.71 y -0.82 ($P < 0.05$), disminuyendo en octubre (-0.49 , $P > 0.05$) y noviembre (-0.08 , $P > 0.05$), momento en el cual el fenómeno de recale prácticamente desapareció. Estas correlaciones indican que cuanto menor la latitud (más al sur el punto de muestreo), el recale fue mayor.

Este patrón parece estar relacionado con la dirección de las corrientes marinas que transportan al sargazo desde la región del Atlántico Ecuatorial de la cuenca del Amazonas (figura 18), incidiendo primero en el punto más al sur, que corresponde a Xcalak y donde se apreció el fenómeno con mayor intensidad en los primeros meses (figuras 16, 17 y 19). Esas corrientes siguen una trayectoria

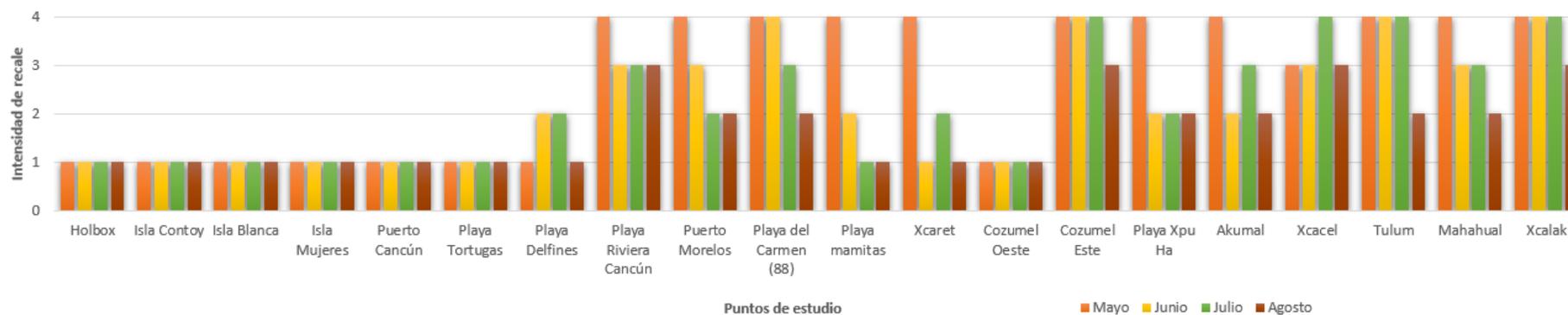
ascendente hasta llegar al último punto de la costa, que es Holbox, donde se observó la presentación del fenómeno en menor intensidad durante todo el periodo (figuras 16, 17 y 19).

Cuadro 5. Moda de la intensidad del recale durante mayo-noviembre de 2019 de acuerdo con el nivel de urbanización de 14 puntos de muestreo.

Nivel de urbanización	Punto de muestreo	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Nula	Isla Contoy	1	1	1	1	0	0	0
Baja	Holbox	1	1	1	1	0	0	2
	Isla Blanca	1	1	1	1	1	1	1
	Xpu Ha	4	2	2	2	2	1	1
	Akumal	4	2	3	2	1	1	1
	Xcaceel	4	4	4	3	3	2	1
	Mahahual	4	3	3	2	2	1	1
	Xcalak	4	4	3	2	1	1	1
Intermedia	Islas Mujeres	1	1	1	1	0	0	0
	Puerto Morelos	4	3	2	2	2	2	1
	Cozumel	4	4	4	3	3	2	1
	Tulum	4	4	4	2	2	1	1
Alta	Cancún	1	1	1	1	1	1	1
	Playa del Carmen	4	4	3	2	1	1	1

El mar del Caribe concentra masas de agua y calor del Océano Atlántico mediante un componente de la circulación Atlántica tropical, que se dirige hacia el oeste, en el cual la Corriente del Sur Ecuatorial converge con la Corriente Norte de Brasil. Esta última se bifurca y una de esas ramas se dirige al Caribe hasta llegar a la Corriente del Caribe. Esta, a su vez, genera corrientes que se propagan hacia el oeste (hacia la costa de la Península) y con dirección predominante hacia el norte (Rioja-Nieto, 2019) (figuras 18 y 19). Además, la presentación del recale también corresponde con la época de lluvias (junio a octubre) en la Península de Yucatán y la presencia de tormentas tropicales y huracanes (González-Leija *et al.*, 2013), lo cual puede, de igual manera, explicar el registro de las observaciones.

Modas mensuales para el periodo Mayo-Agosto de 2019



Modas mensuales para el periodo Septiembre-Noviembre de 2019

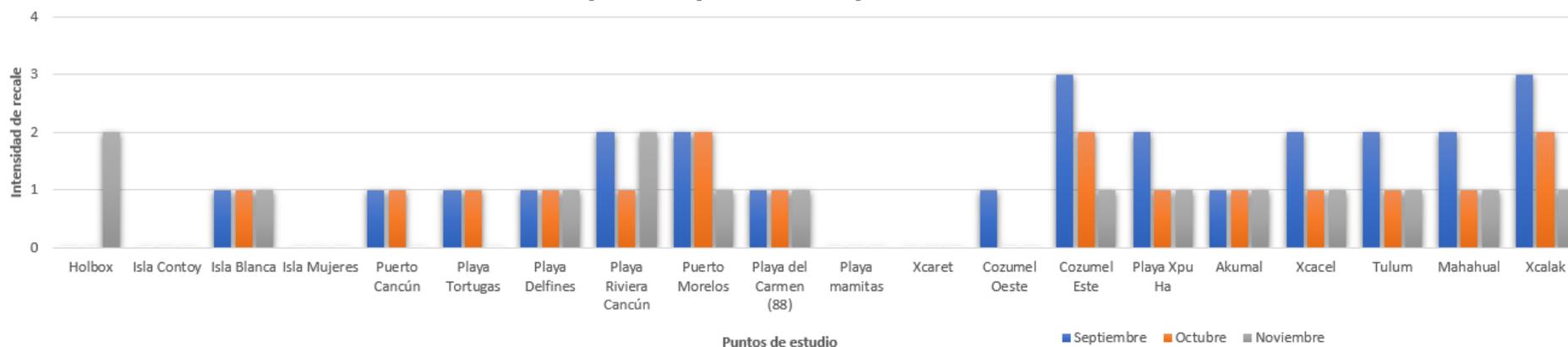


Figura 16. Modas mensuales de la intensidad de recalc apreciada en 20 puntos de norte (izquierda) a sur (derecha). Fuente: Observatorio Ciudadano del Sargazo (OCS), 2019.

Cuadro 6. Matriz de correlación de Spearman entre la urbanización y la moda del recale de mayo a noviembre de 2019 en 14 puntos de muestreo.

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Urbanización (rho)	0.1001	0.2411	0.1338	0.0901	0.1598	0.2784	0.0514
Valor de P	0.7335	0.4064	0.6485	0.7594	0.5853	0.3351	0.8614

Cuadro 7. Matriz de correlación de Spearman entre la latitud y la moda del recale de mayo a noviembre de 2019 en 14 puntos de muestreo.

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Latitud (rho)	-0.7657	-0.7320	-0.8258	-0.7633	-0.7137	-0.4872	-0.0797
Valor de P	0.0014	0.0015	0.0003	0.0015	0.0041	0.0772	0.7866

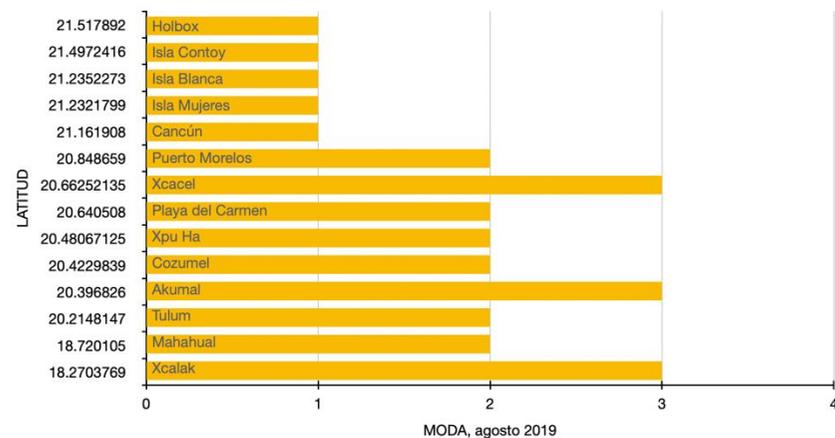
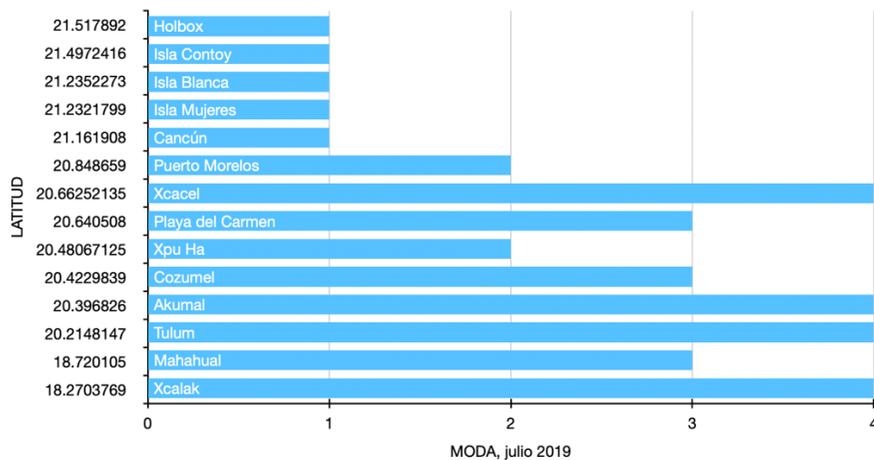
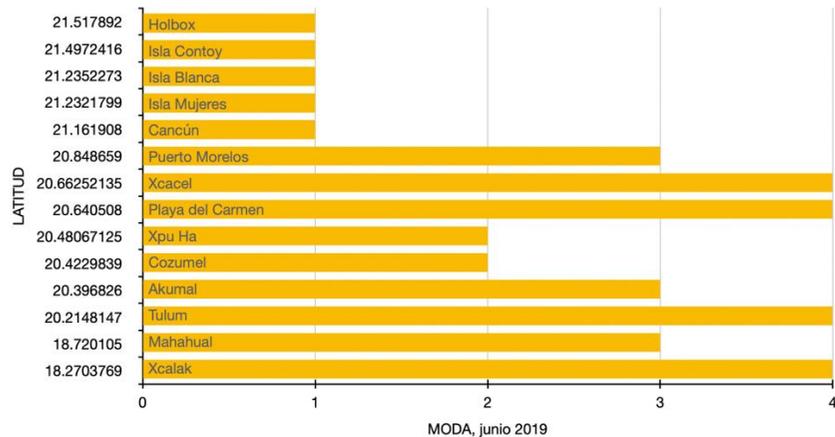
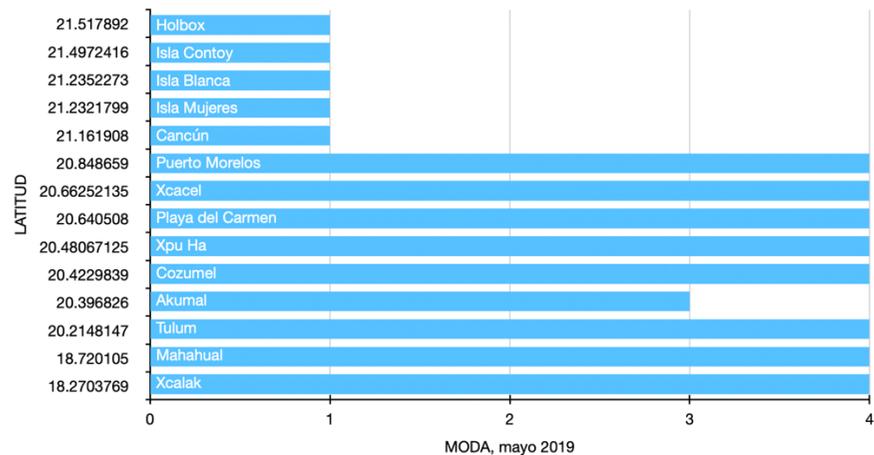


Figura 17. Modas mensuales de la intensidad de recalde apreciada en 14 puntos de acuerdo con la latitud de cada punto.

Fuente: Observatorio Ciudadano del Sargazo (OCS), 2019.

Las latitudes se obtuvieron de https://www.123coordenadas.com/results/MM_buc8fliuOks98zAxh

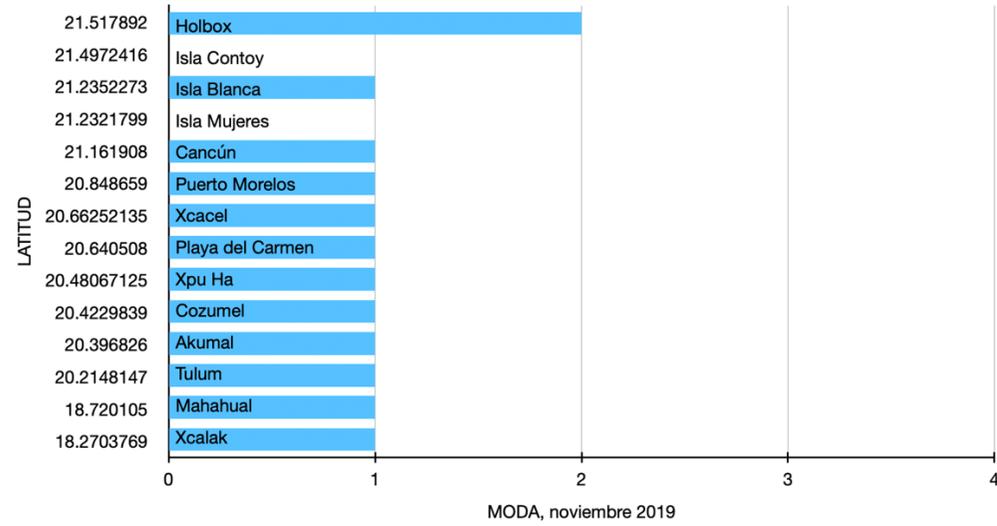
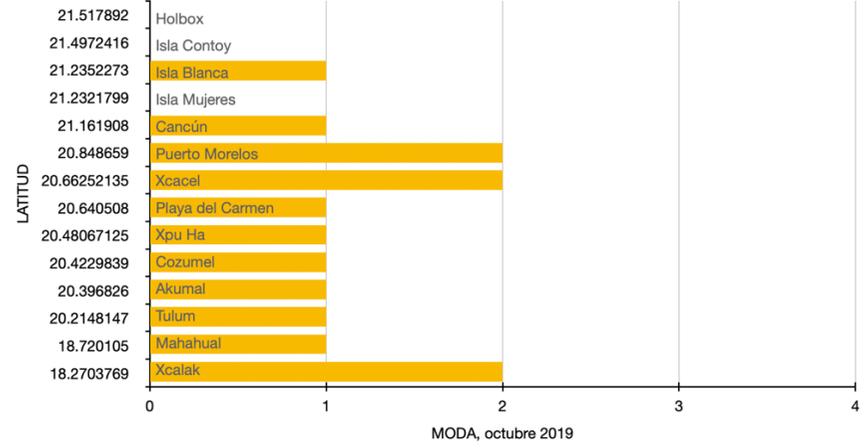
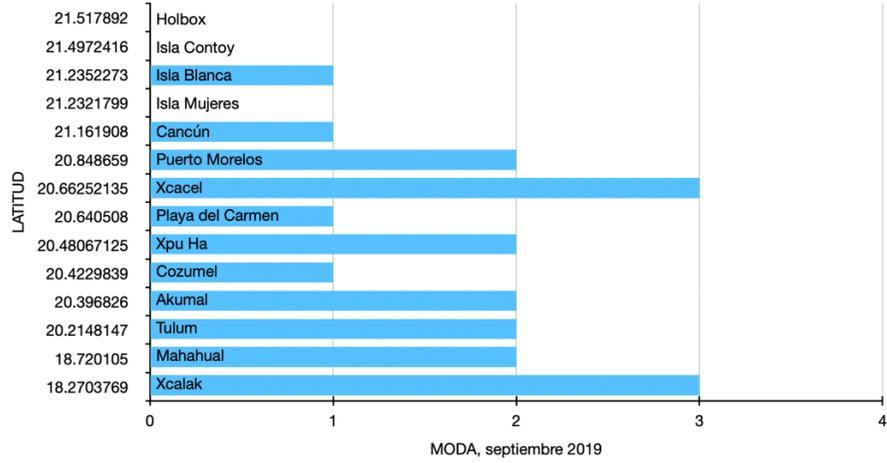


Figura 17. Continuación.

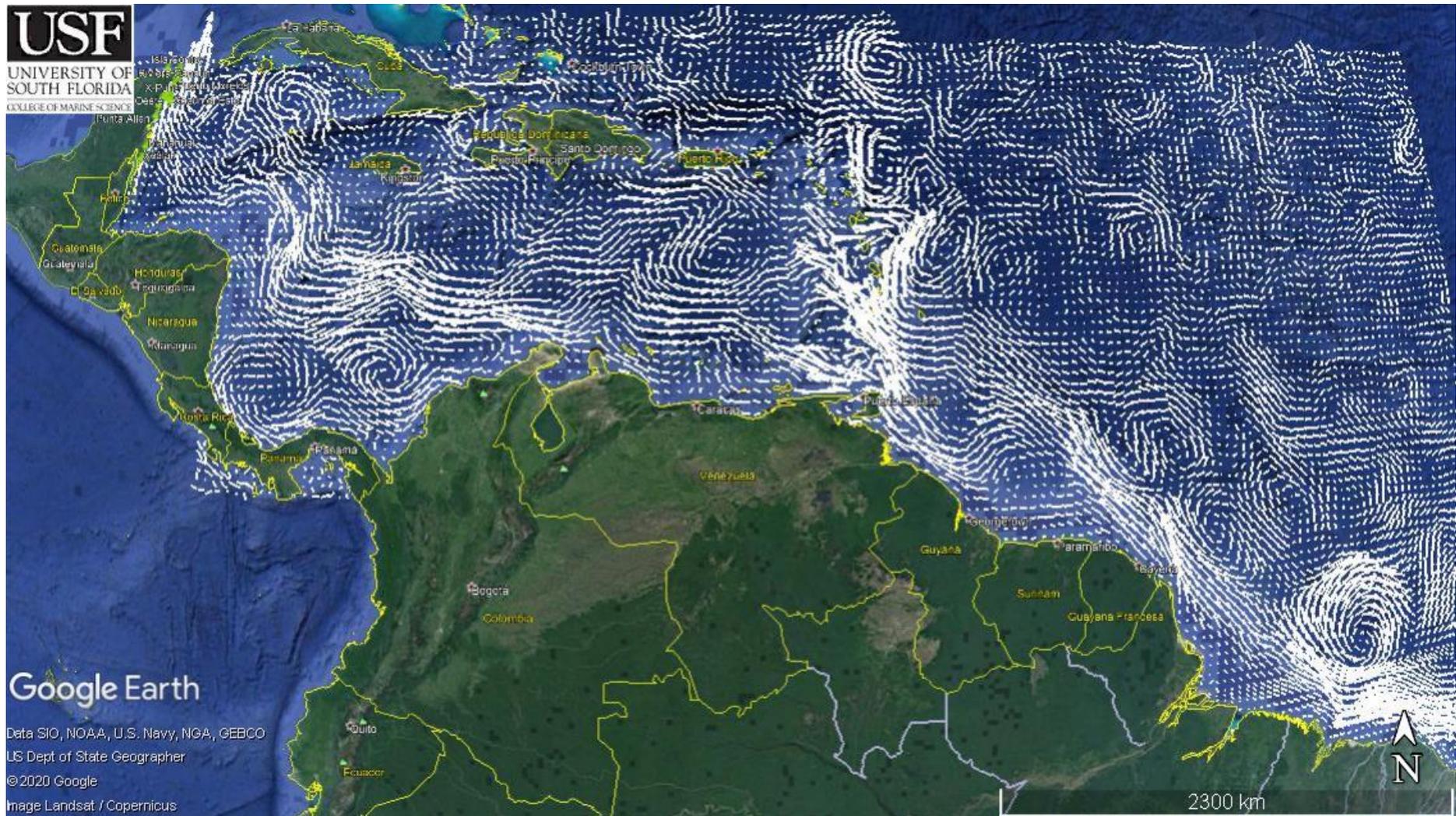


Figura 18. Ejemplo de trayectoria de las corrientes marinas desde la cuenca del Amazonas hasta la Península de Yucatán correspondientes al 1° de julio de 2019. Fuente: USF, 2019.

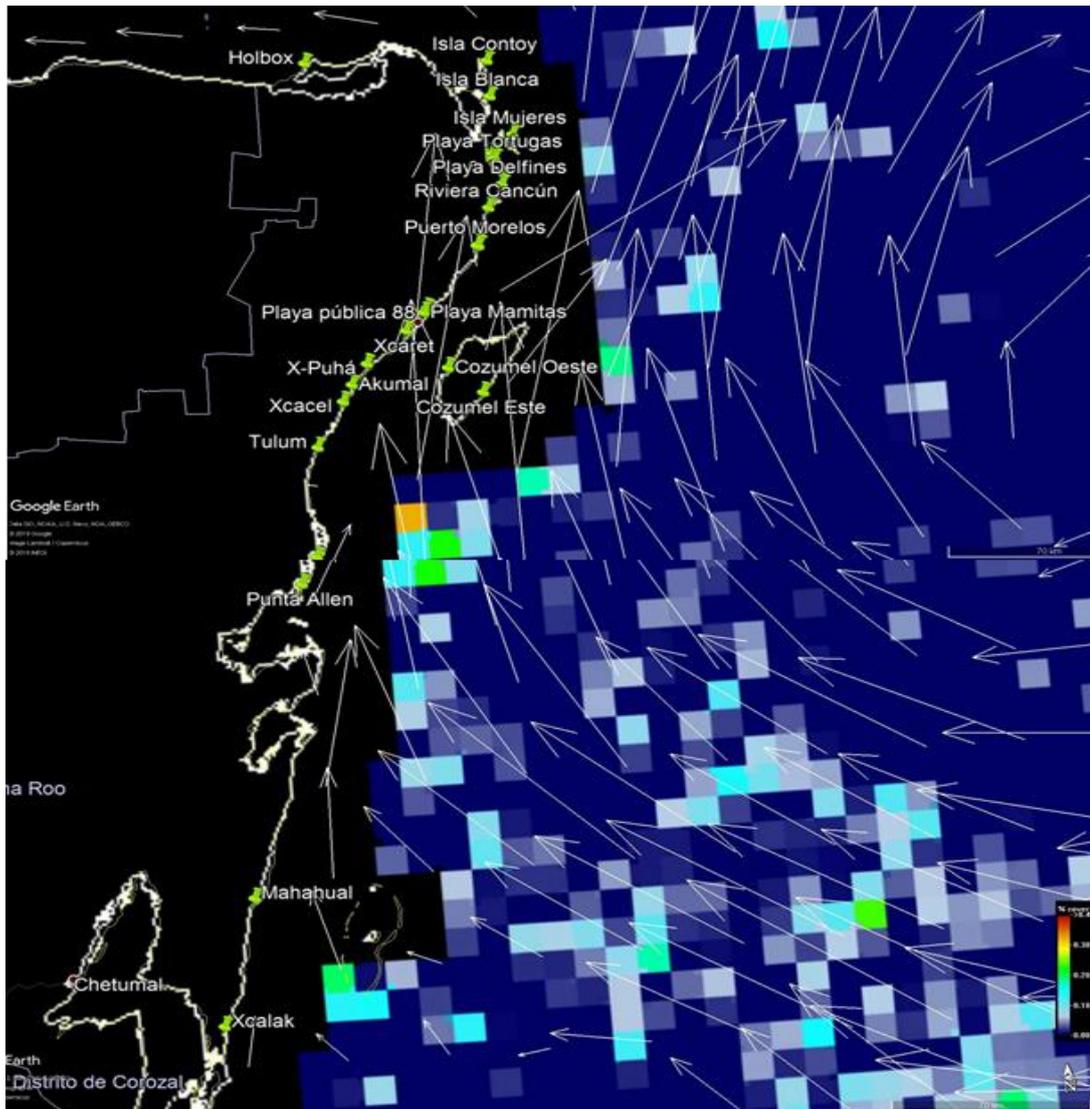


Figura 19. Flujo de corrientes marinas en la costa de Quintana Roo para el periodo del 10 al 16 de julio de 2019. Fuente: USF, 2019

Por otro lado, la Secretaría de Marina (Semar) estudió, utilizando información y datos de instituciones estadounidenses, la densidad del alga presente en el océano Atlántico y las corrientes oceanográficas superficiales y meteorológicas (como el viento superficial, la onda larga saliente, los ciclones tropicales y el fenómeno del Niño-Oscilación del Sur), en el periodo 2005-2020, y llegó a la conclusión de que los años con mayor densidad de sargazo fueron, de mayor a menor, 2018, 2015, 2019, 2020 y 2014. Según la Semar, la mayor densidad del alga coincide con las mayores temperaturas del mar en la región y con un cambio en los patrones de circulación de las corrientes oceánicas a través de las Antillas Menores, pues hay una relación directa entre la cobertura y

desplazamiento del sargazo y la intensidad de las corrientes, lo que limita el efecto de los vientos alisios sobre el alga en su trayectoria sobre el agua. Para el año 2021, la Semar considera que la cantidad del alga que llegará a las costas de Quintana Roo será baja, pues durante la primera mitad del año continuará el fenómeno de La Niña (condiciones frías) y para el resto del año las condiciones serán neutrales, lo que propiciará una disminución en la intensidad de los vientos alisios y limitará la presencia del alga en las costas del estado (El Universal, 2021).

Todo lo expuesto anteriormente parece indicar que la hipótesis de que el patrón de distribución del recale se presenta con mayor intensidad en los sitios con mayor urbanización no es necesariamente correcta. Aunque las descargas de aguas residuales al mar favorecen el crecimiento de estas algas, López (2016) encontró, en un estudio realizado en el mar de la costa de Cancún, que no hay diferencias significativas en las concentraciones de óxidos de N (NOx) y fosfatos entre una región de alta urbanización y una de urbanización nula, lo que también sugiere que los puntos de arribazones masivos de sargazo a lo largo de toda la costa no están correlacionados con sitios específicos de descargas costeras.

Por otro lado, se podría suponer también que el crecimiento de las plantas marinas está determinado por la concentración de nutrientes en su medio. Sin embargo, en un análisis realizado en *Thalassia testudinum* (pasto marino dominante en el Caribe) se concluyó que este crecimiento está más bien determinado por procesos metabólicos propios de la planta (como la especialización de asimilación de nutrientes en los diferentes tejidos, la distribución de nutrientes en la planta, etc.), además de otros factores que favorecen su crecimiento, como la temperatura o la cantidad de luz que recibe su medio (López, 2016). Esto no significa, sin embargo, que las descargas de aguas residuales no estén contribuyendo con el fenómeno de recale de sargazo, ya que sí representan una fuente de alimento para estas macroalgas, incrementando su productividad (Lapointe, 1995) y, en conjunto con los factores ambientales que favorecen su crecimiento y su alta tasa de reproducción en la costa, los arribazones masivos se intensifican.

Una observación que es importante destacar, finalmente, y que proviene del trabajo de campo, es que el sargazo no es material maloliente. Su hedor es

resultado directo de su proceso de descomposición anaerobia cuando se apila. Por lo tanto, es un error apilar el sargazo porque eso origina su putrefacción.

2. Caracterización química del *Sargassum* spp y su relación con la urbanización

El cuadro 8 muestra los resultados de las determinaciones de materia seca y de las fracciones de fibra para el sargazo recolectado en seis puntos de muestreo y en altamar.

Cuadro 8. Fracciones de fibra del sargazo en estudio.

Punto de muestreo	%MS	%FDN	%FDA
MAR			
Cancún	12.43	26.23	81.1
Puerto Morelos	12.75	25.33	78.23
Playa del Carmen	11.84	25.53	85.67
Tulum	11.96	25.33	79.77
Punta Allen	14.43	26.17	76.97
Mahahual	12.89	27.67	73.4
Media	12.72	26.04	79.19
Varianza	0.88	0.8	17.07
Desviación estándar	0.94	0.89	4.13
ARENA			
Cancún	13.77	26.57	78.73
Puerto Morelos	8.93	27.3	70.53
Playa del Carmen	8.45	21.03	61.1
Punta Allen	15.59	25.67	77.5
Mahahual	20.64	25.43	82.77
Media	13.48	25.2	74.13
Varianza	25.45	5.99	72.48
Desviación estándar	5.04	2.47	8.51
ALTAMAR	11.87	27.13	72.58

MS = materia seca

FDN = fibra detergente neutro

FDA = fibra detergente ácido

El peso fresco del sargazo da idea de su enorme capacidad de retener humedad en su estructura biológica, ya que su materia seca representa entre el 10 y 20% del peso total. Además, la velocidad con la que pierde humedad permitirá diseñar estrategias para su mejor disposición y controlar los olores que emanan de su descomposición.

Las concentraciones de materia seca, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de las muestras del sargazo recogido en la arena (13.48 ± 5.04 , 25.20 ± 2.47 y 74.13 ± 8.51 , respectivamente) presentan una mayor variabilidad que las de las muestras recogidas del mar (12.72 ± 0.94 , 26.04 ± 0.89 y 79.19 ± 4.13 , respectivamente).

El perfil químico del sargazo se muestra en los cuadros 9 y 10. Las algas marinas cafés suelen tener entre 3-36% de PC (Angell *et al.*, 2015), dependiendo de la especie en cuestión y de la época. Ese rango concuerda con el 8% reportado en las especies de sargazo presentes en la península de Baja California (Casas *et al.*, 2006), el 15.4% reportado en el que llega a la costa de Nigeria (cuyas especies son las mismas que las que llegan al Caribe mexicano) y el 5.2-11.3% obtenido en este estudio (cuadro 11).

Para el caso del P, Ca, K y Na, se pueden observar en el cuadro 11 los valores obtenidos en los perfiles de diferentes estudios; con resultados menores al 1.14% para el P, menores a 13.61% para el Ca, un máximo de 14.45% de K y un máximo de 2.61% para Na.

Por otro lado, es importante señalar que se hallaron niveles de As, Cd y Hg por arriba de los límites permisibles para uso agrícola establecidos en la NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004 (cuadro 12): en el 92% de las muestras para el caso del As; en el 33% para Cd, y en el 100% de las muestras para Hg. Asimismo, en el cuadro 12 se pueden observar otros valores reportados en República Dominicana en el año 2015 (Fernández *et al.*, 2017) y en otro estudio realizado en diferentes puntos del Caribe Mexicano entre el 2018 y 2019 (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2020). Para el caso del plomo, en ninguna de las muestras se excede el límite permisible, mientras que para el arsénico se llega a superar el límite en los tres estudios. Rodríguez-Martínez *et al.* (2020) determinaron que las variaciones en los niveles de arsénico están dadas por la

especie o morfotipo del sargazo, pudiendo ser esta una causa en la variación del resto de los elementos analizados.

La cantidad de elementos químicos contenidos en la materia seca del sargazo es evidencia de su capacidad para actuar como biosorbente, especialmente si se contrasta contra otros materiales de origen vegetal, como forrajes, frutas, hortalizas, entre muchos otros.

Cuadro 9. Perfil químico del sargazo muestreado en altamar y varado en el mar.

	Cancún	Puerto Morelos	Playa del Carmen	Punta Allen	Mahahual	Altamar
Proteína cruda, % BS	5.22	6.30	5.55	6.36	5.51	5.25
Fósforo, % BS	0.90	1.23	0.80		0.77	1.20
Calcio, % BS	7.08	5.95	4.98	5.45	5.76	3.95
Potasio, % BS	14.45	7.46	6.57	7.96	9.56	8.69
Sodio, % BS	4.99	5.05	6.19	5.00	5.04	0.11
Cloro, µg/g BS	9.86	10.99	9.68	11.63	13.11	13.21
Arsénico, µg/g BS	49.66		35.88		35.42	58.39
Cadmio, µg/g BS	28.06	28.06	28.96	44.22	28.06	28.06
Plomo, µg/g BS	33.44	38.83	22.67	38.83	22.67	1.13
Mercurio, µg/g BS	50.32	74.80	417.44	197.17	74.80	123.75

Cuadro 10. Perfil químico del sargazo varado en la arena.

	Cancún	Puerto Morelos	Playa del Carmen	Tulum	Punta Allen	Mahahual
Proteína cruda, %BS	7.74	8.62	11.28	6.82	5.46	6.52
Fósforo, %BS	0.86	0.74	0.51	1.09	0.60	1.14
Calcio, %BS	5.92	4.31	12.92	5.75	7.08	7.39
Potasio, %BS	7.11	0.59	3.02	8.05	5.64	8.46
Sodio, %BS	5.82	0.38	5.54	5.37	35.11	4.80
Cloro, µg/g BS	10.71	12.42	6.59	119.03	11.03	11.21
Arsénico, µg/g BS	4.19	57.47	53.80	31.75	77.68	42.77
Cadmio, µg/g BS	49.60	28.06	54.99	28.05	44.22	33.44
Plomo, µg/g BS	38.83	17.29	49.30	17.29	38.83	22.67
Mercurio, µg/g BS	74.80	50.32	50.33	148.22	74.80	148.22

Cuadro 11. Perfiles químicos de sargazo reportados.

	Casas <i>et al</i> , 2006	Oyesiku y Egunyomi, 2014	Fernández <i>et al</i> , 2017	Rodríguez-Martínez <i>et al</i> , 2020	Presente estudio
	2005	2014	2015	2018-2019	2019
Proteína cruda, %BS	8	15.40			5.22 - 11.28
Fósforo, %BS	0.045	0.096	0.076 – 0.114	0.023 – 0.0401	0.51 - 1.14
Calcio, %BS	0.5		9.690 – 13.340	2.372 – 13.614	3.95 - 12.92
Potasio, %BS	6.8	0.028	0.221 – 3.360	0.199 - 4.600	0.59 - 14.45
Sodio, %BS	2.07		0.380 – 2.106		0.38-35.11

Cuadro 12. Concentraciones halladas de As, Cd, Pb y Hg en diferentes estudios (ppm).

	República Dominicana	Caribe Mexicano (2018-2019)	Caribe Mexicano (2019)	NOM-147-SEMARNAT-SSA-1-2004
As	14-42	24-172	4.19-77.68	22
Cd	0.1-0.3	<2	28.05-54.99	37
Pb	1-2	<2-3	1.13-49.3	400
Hg	0.54-1.45	-	50.32-197.17	23

Con base en los resultados obtenidos del perfil químico, se realizó la prueba Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos, tomando los valores de cada variable por pares: vector X para muestras varadas en la arena y vector Y para las varadas en el agua, como se muestra en el cuadro 13. Para este caso, la $H_0 = F(X) = F(Y)$, es decir, la distribución de cada elemento del sargazo varado en la arena es igual a la del sargazo que está varado en el mar y, además, la distribución es normal.

La prueba de Shapiro-Wilk (cuadro 14) indicó que la concentración de sodio no presentó una distribución normal en ninguna de las dos ubicaciones del sargazo y la concentración de cadmio en el sargazo varado en el mar tampoco se distribuyó normalmente ($p < 0.05$). Debido, entonces, a que no todos los datos tuvieron una distribución normal, se recurrió a la prueba U de Mann-Whitney para dos muestras independientes, con el objetivo de establecer si hubo diferencias en cada uno de estos elementos entre el sargazo muestreado en el agua y el muestreado en la arena, comparando las medianas de cada grupo bajo la $H_0 =$ las medianas del sargazo varado en el mar son iguales a las del sargazo varado

en la arena (cuadro 15). Los resultados arrojaron una $p > 0.05$ para todas las variables, por lo que la H_0 no se rechaza y se concluye que no hubo diferencia significativa entre las medianas de las muestras de sargazo varado en la arena y las del sargazo varado en el mar. Además, para el caso de aquellas variables que tuvieron una distribución normal, las medias también fueron iguales.

Cuadro 13. Vectores ordenados por elemento a analizar con la prueba Shapiro-Wilk.

A.

Sitio	Proteína Cruda		Nitrógeno		Fósforo		Calcio		Potasio		Cloro	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	7.74	5.22	1.24	0.84	0.86	0.9	5.92	7.08	7.11	14.45	10.71	9.86
2	8.62	6.3	1.38	1.01	0.74	1.23	4.31	5.95	0.59	7.46	12.42	10.99
4	11.28	5.55	1.81	0.89	0.51	0.8	12.92	4.98	3.02	6.57	6.59	9.68
3	6.82		1.09		1.09		5.75		8.05		119.03	
5	5.46	6.36	0.87	1.02			7.08	5.45	5.64	7.96	11.03	11.63
6	6.52	5.51	1.04	0.88	1.14	0.77	7.39	5.76	8.46	9.56	11.21	13.11

B.

Sitio	Sodio		Arsénico		Mercurio		Cadmio		Plomo	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	5.82	4.99	4.19	49.66	74.8	50.32	49.6	28.06	38.83	33.44
2	0.38	5.05			50.32	74.8	28.06	28.06	17.29	38.83
4	5.54	6.19	53.80	35.88	50.33	417.44	54.99	28.06	49.3	22.67
3	5.37		31.75		148.22		28.05		17.29	
5	35.11	5			74.8	197.17	44.22	44.22	38.83	38.83
6	4.8	5.04	42.77	35.42	148.22	74.8	33.44	28.06	22.67	22.67

X = sargazo varado en la arena; Y = sargazo varado en el mar. Sitios: 1 = Cancún, 2 = Puerto Morelos, 3 = Tulum, 4 = Playa del Carmen, 5 = Punta Allen, 6 = Mahahual.

Esto se traduce en que la presencia de los componentes analizados en el perfil químico de la biomasa del sargazo presente en la costa o en su cercanía no está determinada directamente por los aportes provenientes de las descargas en los puntos de muestreo. Es decir, no hay diferencias entre los distintos puntos muestreados y, por lo tanto, el nivel de urbanización no determina directamente las concentraciones encontradas en las muestras. Puede concluirse, entonces, que este material algal llega a la costa con esas concentraciones de los elementos medidos.

La presencia de As, Cd, Hg y Pb (elementos de importancia en la salud pública) en el sargazo es un indicio de contaminación generada por actividades antropogénicas. Es muy probable que la biomasa algal del sargazo adquiera

todos estos elementos antes de arribar a las costas mexicanas, al exponerse a ellos durante su trayectoria por el océano (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2020). Las fuentes principales de estos elementos son las siguientes: plásticos, soldaduras, pesticidas, fertilizantes, minería y refinería para el Cd; industria de pinturas, pilas, industria papelera y minería para el Hg; fundición, minería, sedimentación de rocas y pesticidas para el As y, finalmente, la minería, pintura, pigmentos, plantas electroquímicas, fabricación de pilas y quema de carbón para el Pb (Abbas *et al.*, 2014). Por otro lado, a pesar de no haber encontrado diferencias significativas en las concentraciones de estos elementos entre las muestras del sargazo varado y del que se colectó en el mar cerca de la costa, en Quintana Roo se realizan actividades económicas que pueden contribuir con los aportes de estos iones, como las agropecuarias o las mineras (INEGI, 2010). Por ejemplo, es de llamar la atención la baja concentración de Pb en la muestra de sargazo de altamar (1.13 $\mu\text{g/g}$ BS) comparada con su concentración en las muestras de Cancún (33.44 $\mu\text{g/g}$ BS), Puerto Morelos y Punta Allen (38.83 $\mu\text{g/g}$ BS) y Playa del Carmen y Mahahual (22.67 $\mu\text{g/g}$ BS).

Por lo anterior, el uso del sargazo en el sector agroalimentario representa un peligro potencial al sector de salud pública. Por ejemplo, la aplicación continua del sargazo en los suelos podría causar una acumulación de As, Cd, Hg y Pb, ocasionando toxicidad en las plantas. Para su uso en la industria alimenticia, sería necesario realizar estudios de especiación del As, ya que no todas las formas del arsénico son tóxicas (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2020).

Cuadro 14. Resultados de la prueba Shapiro-Wilk.

	Proteína Cruda		Nitrógeno		Fósforo	
	X	Y	X	Y	X	Y
Est - W	0.934423422	0.860055947	0.96544567	0.85487934	0.945311099	0.831286016
Valor p	0.614667989	0.228449299	0.618388296	0.210409654	0.703687874	0.171180248
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normal	sí	sí	sí	sí	sí	sí

	Calcio		Potasio		Cloro	
	X	Y	X	Y	X	Y
Est - W	0.829176289	0.939404793	0.905541672	0.842250263	0.537661696	0.930347807
Valor p	0.105774705	0.661733153	0.407721092	0.171238684	7.53506E-05	0.598744271
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normal	sí	sí	sí	sí	sí	sí

	Sodio		Arsénico		Mercurio	
	X	Y	X	Y	X	Y
Est - W	0.634361873	0.597057104	0.950011402	0.77416785	0.787599219	0.794602535
Valor p	0.00116688	0.000572232	0.716187496	0.054214296	0.045326612	0.073175361
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normal	no	no	sí	sí	sí	sí

	Cadmio		Plomo	
	X	Y	X	Y
Est - W	0.892579065	0.552077858	0.872267516	0.803227781
Valor p	0.331922191	0.000130506	0.235394007	0.086071931
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05
Normal	sí	no	sí	sí

X = sargazo varado en arena; Y = sargazo varado en el mar.

Cuadro 15. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney para el perfil químico.

	Proteína cruda		Nitrógeno		Fósforo	
	X	Y	X	Y	X	Y
U	4		4		8	
Media	15		15		10	
Dev Est	5.477225575	Empates	5.4772256	Empates	4.0824829	Empates
Valor-z	1.917028951	Corr Yates	1.917029	Corr Yates	0.3674235	Corr Yates
Efecto-r	0.578005977		0.578006		0.1224745	
Norm-p	0.027617127	0.0552343	0.0276171	0.0552343	0.3566516	0.7133032
Exacto-p	0.025974026	0.0519481	0.025974	0.0519481	0.3650794	0.7301587

Cuadro 15. Continuación.

	Potasio		Calcio		Cloro	
	X	Y	X	Y	X	Y
U	7		10.5		7	
Media	15		15		15	
Dev Est	5.477225575	Empates	5.4647632	Empates	5.4772256	Empates
Valor-z	1.369306394	Corr Yates	0.7319622	Corr Yates	1.3693064	Corr Yates
Efecto-r	0.412861412		0.2206949		0.4128614	
Norm-p	0.08545176	0.1709035	0.2320958	0.4641916	0.0854518	0.1709035
Exacto-p	0.088744589	0.1774892	0.2142857	0.4285714	0.0887446	0.1774892

	Sodio		Arsénico		Mercurio	
	X	Y	X	Y	X	Y
U	13		5		11.5	
Media	15		6		15	
Dev Est	5.477225575	Empates	2.8284271	Empates	5.3257522	Empates
Valor-z	0.273861279	Corr Yates	0.1767767	Corr Yates	0.5633007	Corr Yates
Efecto-r	0.082572282		0.0668153		0.1698416	
Norm-p	0.392095615	0.7841912	0.4298419	0.8596838	0.2866151	0.5732301
Exacto-p	0.396103896	0.7922078	0.4285714	0.8571429	0.2683983	0.5367965

	Cadmio		Plomo	
	X	Y	X	Y
U	9.5		14	
Media	15		15	
Dev Est	5.2092575	Empates	5.2872058	Empates
Valor-z	0.9598297	Corr Yates	0.0945679	Corr Yates
Efecto-r	0.2893995		0.0285133	
Norm-p	0.1685705	0.3371409	0.462329	0.924658
Exacto-p	0.1645022	0.3290043	0.465368	0.9307359

3. Evaluación de la capacidad de adsorción de iones metálicos del compost de *Sargassum spp.*

3.1 Elaboración del compost

Los pesos finales obtenidos del proceso de compostaje se pueden apreciar en el cuadro 16, antes del secado final. Puede observarse que los pesos finales después del secado estuvieron en el rango de 82-85 g, con porcentajes de MS entre el 56.4 y 80.4% en los diferentes tratamientos.

Cuadro 16. Pesos obtenidos al finalizar la incubación de los 12 tratamientos.

Tx	Peso pre-secado (g)	Peso post-secado (g)	% MS
1	147.65	83.25	56.4
2	142.30	82.03	57.6
3	139.06	83.54	60.1
4	133.22	82.97	62.3
5	128.23	83.86	65.4
6	123.21	84.05	68.2
7	147.41	83.18	56.4
8	139.72	83.12	59.5
9	132.64	84.34	63.6
10	131.64	84.79	64.4
11	115.01	84.38	73.4
12	106.19	85.41	80.4

Tx = tratamiento

1 y 7 = 100% sargazo + 0% Andisol/Vertisol; 2 y 8 = 80% sargazo + 20% Andisol/Vertisol; 3 y 9 = 60% sargazo + 40% Andisol/Vertisol; 4 y 10 = 40% sargazo + 60% Andisol/Vertisol; 5 y 11 = 20% sargazo + 80% Andisol/Vertisol; 6 y 12 = 0% sargazo + 100% Andisol/Vertisol

3.2 Capacidad de adsorción iónica del compost de sargazo

Los resultados obtenidos de las mediciones de fósforo y potasio solubles, es decir, no adsorbidos por el sustrato y, por lo tanto, que quedaron en el sobrenadante, se muestran en el cuadro 17.

Cuadro 17. Resultados del fósforo y potasio solubles en los diferentes tratamientos sargazo:suelo.

Fósforo soluble (mg/L)														
ppm P	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	TS	TSr
0	13.2	7.2	2.8	1.2	0	0	9.2	9.2	6.4	5.2	0	0	20	20.4
25	30.8	18.8	16.4	8.4	4.8	3.2	30.4	26	19.2	15.6	7.2	4	39.6	4.8
50	48	38.4	33.6	22.4	12	9.6	51.2	52	43.2	31.2	18.4	13.6	68	65.6
100	98	62	56	48	30	32	102	94	84	146	46	44	20	116
200	140	92	124	104	68	84	148	188	156	124	112	124	196	224
400	344	256	248	240	188	236	304	364	328	280	236	280	360	392
%Sargazo	100	80	60	40	20	0	100	80	60	40	20	0	100	100
% Suelo	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	0
Potasio soluble (mg/L)														
ppm K¹	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	TS	TSr
0	8320	5040	3760	2640	1072	4	8400	7040	3680	1200	1280	4	5920	5920
31.485	8240	5360	4080	2640	1120	20	8320	6240	7120	4880	1456	28	6080	6080
62.97	8080	5680	4160	2640	1248	36	8720	6640	7520	4560	1472	44	5920	5920
125.94	8080	5600	4320	2800	1312	80	9760	6320	7440	5200	1760	92	6080	5920
251.88	8000	5600	4960	2960	1344	176	9360	6880	7680	5120	1936	188	6240	6400
503.76	8240	6320	4960	3120	1472	352	9200	7360	7440	5200	2016	424	6080	6400
%Sargazo	100	80	60	40	20	0	100	80	60	40	20	0	100	100
% Suelo	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	0

¹Debido a que un mol de KH_2PO_4 no contiene la misma masa molar de P que de K, se calculó cuánto K se había agregado con base en la cantidad de KH_2PO_4 que se utilizó.

T1 – T6: mezcla con suelo de tipo Andisol.

T7 – T12: mezcla con suelo de tipo Vertisol.

TS: Sargazo sin compostar.

TSr: Sargazo sin compostar repetición.

Mediciones de potasio

El sargazo utilizado en este estudio tenía 8.69% de K en BS (cuadro 9, altamar), u 86.9 g (86,900 mg) en 1 kg de materia seca de sargazo. Cuando no se adicionó K al medio, en el sobrenadante de los tratamientos que sólo contenían sargazo (100%S, figs. 20 y 21) se midió una elevada concentración de este ion (más de 8 g). Ese K únicamente pudo haber provenido del sargazo y, por lo tanto, el sargazo **aportó** K al medio. Este fenómeno se observó incluso cuando el sargazo no sufrió un proceso previo de compostaje (TS y su repetición, TSr, cuadro 17). Asimismo, conforme disminuyó la proporción de sargazo en los tratamientos, la concentración de K en el sobrenadante también fue disminuyendo. Esto fue muy claro en los tratamientos con Andisol (fig. 20). En los tratamientos con Vertisol, las concentraciones de K en el sobrenadante fueron similares a las de Andisol cuando no se añadió K al medio, pero en los tratamientos 80:20 y 60:40 los resultados no sólo fueron más elevados sino que se invirtieron con respecto al Andisol (fig. 21): hubo mayor aporte de K al medio en el tratamiento 60:40 que en el 80:20. Igualmente, en el tratamiento 40:60 hubo un mayor aporte de K al medio con Vertisol (fig. 21) que con Andisol (fig. 20). Desafortunadamente, debido a la pandemia del SARS-COV2, no hubo posibilidad de repetir las mediciones, lo que impide saber si estos resultados se debieron a un problema de medición. En lo que respecta a los tratamientos con 100% suelo (T6 y T12) es claro que estos suelos demostraron su capacidad de adsorción, ya que se observaron reducciones, de manera general, entre la concentración añadida al medio y la que quedó en el sobrenadante.

La dificultad para determinar si el sargazo puede adsorber K se debió a la elevada concentración de este ion en su estructura. Por lo tanto, para estudios posteriores, se sugiere realizar diluciones aún mayores.

Si bien el propósito de este estudio era conocer la capacidad de adsorción de cationes y de aniones del sargazo, su habilidad para liberar K, en este caso, al medio puede considerarse para prevenir y tratar deficiencias de este mineral en ciertos tipos de suelos, como los ligeros, arenosos y yesosos, bajos en arcilla. La deficiencia afecta más a menudo a las papas, el tomate, las grosellas y las manzanas (Wikipedia, 2020).

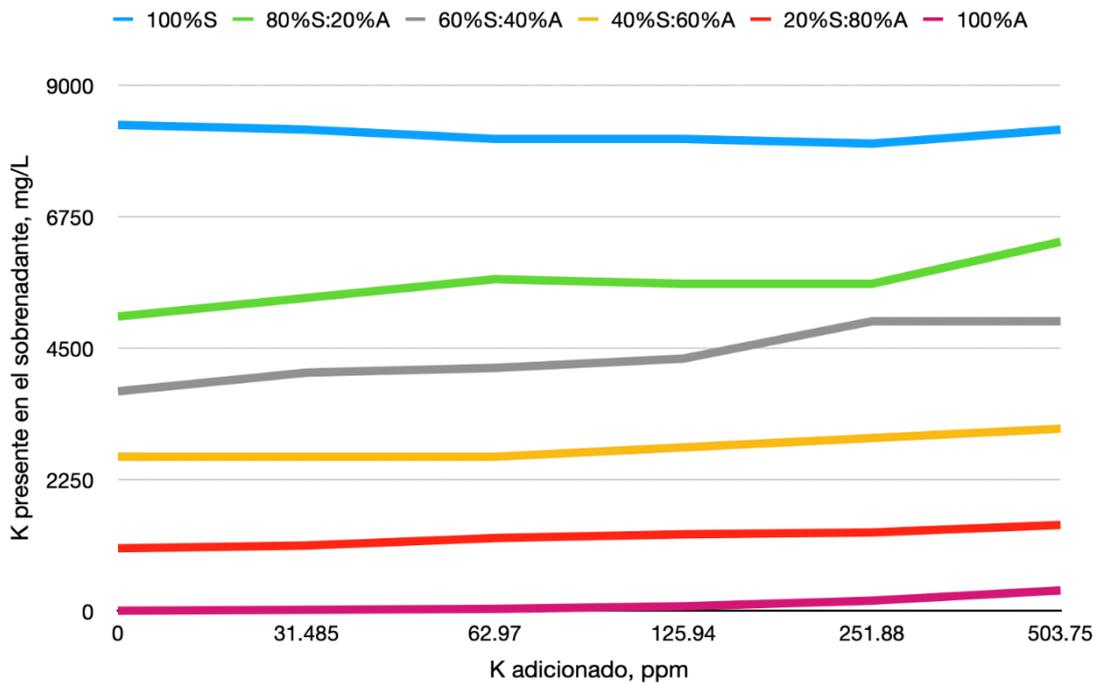


Figura 20. Presencia de potasio en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Andisol como sustrato (S = sargazo; A = Andisol).

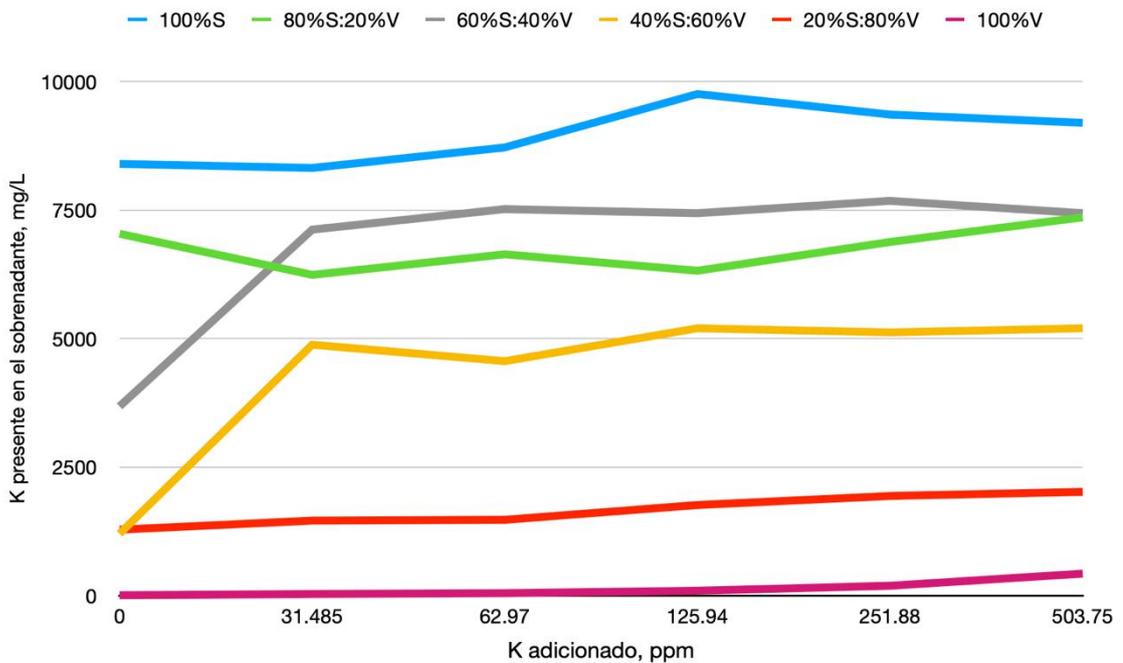


Figura 21. Presencia de potasio en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Vertisol como sustrato (S = sargazo; V = Vertisol).

Mediciones de fósforo

Para comenzar a analizar los resultados del P es importante ver qué pasó con los suelos. Tanto el Andisol (T6) como el Vertisol (T12) adsorbieron P del medio (en el sobrenadante quedó menos P que lo que se agregó). Asimismo, puede observarse que el Andisol adsorbió con mayor fuerza el P que el Vertisol. Al relacionar la adición de la sal con la cantidad de fósforo extraído, en ambos casos la tendencia fue lineal:

Andisol:	$P \text{ extraído} = 2.62(P \text{ aplicado})$	$R^2 = 0.95$
Vertisol:	$P \text{ extraído} = 3.13(P \text{ aplicado})$	$R^2 = 0.95$

Ahora bien, al examinar los resultados de los tratamientos únicamente con sargazo compostado (T1 y T7) y natural (TS y TSr), puede observarse un aumento de P en el sobrenadante, excepto, quizá, en los niveles de 200 y 400 ppm de adición de P. Especialmente en la última concentración, pudo medirse una disminución del P en el medio de 14% para T1, de 24% para T7 (media = 19%) y, en promedio, de 6% para el sargazo sin compostar. Aparentemente, el sargazo adsorbió algo del P al aumentar su concentración en el medio.

Sin embargo, para el resto de los tratamientos, aunque se observan disminuciones de P en el sobrenadante, no se puede determinar si éstas se debieron al compost de sargazo, al suelo o a la mezcla de ambos, ya que conforme aumentan las proporciones de suelo, la adsorción pudo haber sido resultado de la capacidad de adsorción de los suelos (figs. 22 y 23).

Para evitar estos efectos confundidos y poder evaluar el proceso de adsorción únicamente del sargazo, se sugiere incluir en futuros experimentos una matriz que contenga un suelo o sustrato que no posea capacidad de adsorción y utilizar el sargazo en su forma de compost y natural en todos los tratamientos. Además, es necesario realizar al menos tres repeticiones por cada tratamiento para obtener un análisis más robusto.

Sin lugar a duda, un factor importante que pudo haber intervenido en el proceso de adsorción del sargazo fue el no haber realizado un tratamiento previo de la biomasa, como un lavado (Gutiérrez-Benítez, *et al.*, 2014), ya que los grupos funcionales de la superficie celular de las algas, que son responsables

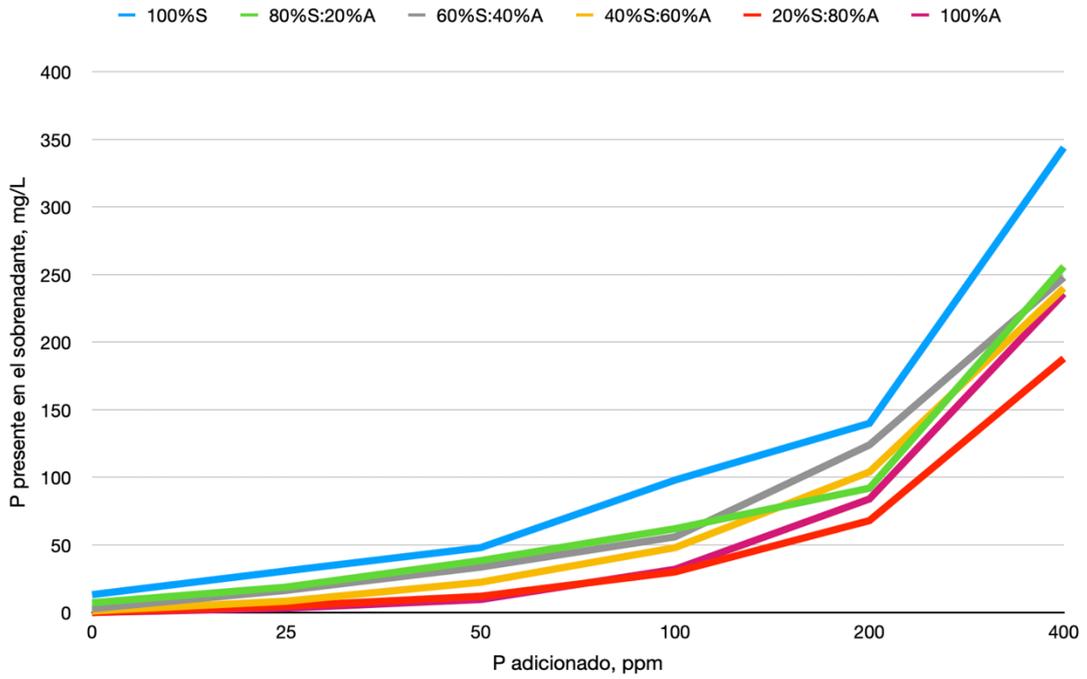


Figura 22. Presencia de fósforo en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Andisol como sustrato (S = sargazo; A = Andisol).

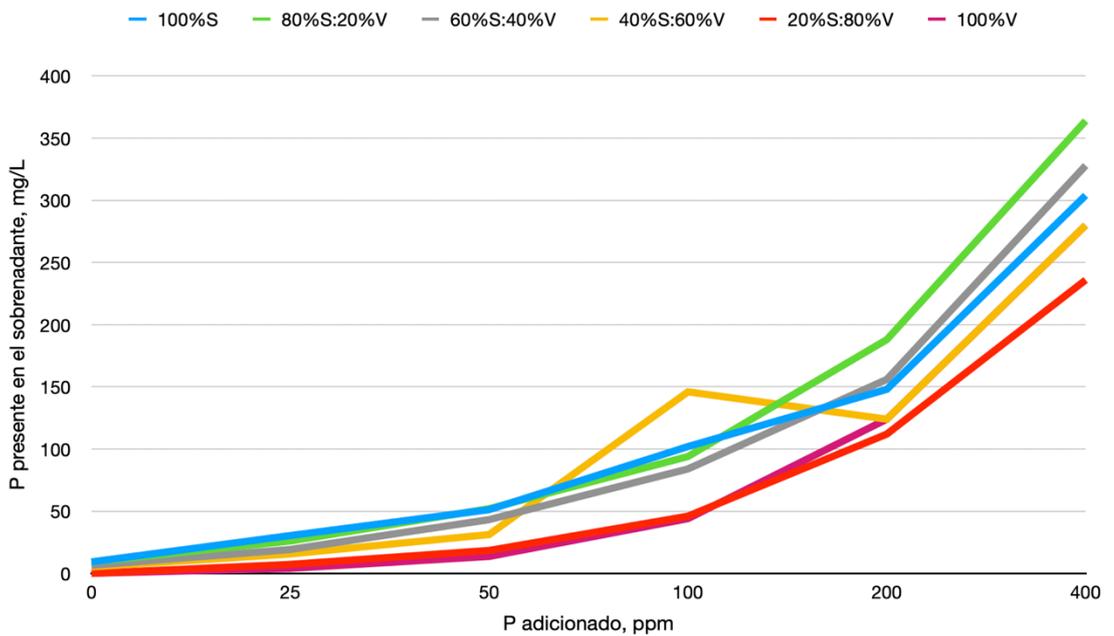


Figura 23. Presencia de fósforo en el sobrenadante para las pruebas de adsorción utilizando Vertisol como sustrato (S = sargazo; V = Vertisol).

de la adsorción, podrían haber estado saturados, interfiriendo, así, con la adsorción de los iones presentes en la disolución incubada. En el sector industrial, las algas marinas suelen someterse a distintos procesos para mejorar su capacidad de adsorción y su selectividad; por ejemplo, mediante una modificación química de las algas se facilita el contacto de iones con los grupos funcionales responsables de la adsorción (Cuizino y Navarro, 2008).

Otros factores importantes que no se consideraron en este estudio fueron el tiempo y el pH. En un proyecto de investigación realizado en la Universidad Autónoma de Querétaro, se analizó la capacidad de adsorción de *S. fluitans* para As (III) y se encontró que estos dos factores son relevantes en este proceso. En este estudio se estableció que el tiempo óptimo de contacto era de 25 minutos y el pH óptimo, de 5 para una remoción de 74% del As (Barrón-Escoto *et al*, 2020).

Para fines de estudios posteriores de adsorción con el sargazo se recomienda:

- lavarlo posterior a su colecta para poder hacer una correcta evaluación química;
- trabajar con tamaños de partícula mayores a 2 mm para incrementar la superficie de adsorción;
- tomar en cuenta tiempo y pH para optimizar la cinética de adsorción;
- considerar otros iones de importancia, como los que conciernen a la salud tanto ambiental como humana, que, además, se encuentran presentes en el sargazo del Caribe.

Finalmente, si para mejorar la capacidad adsorbente del sargazo fuera necesario lavarlo, esto implicaría el uso de un recurso valioso y cada vez más escaso, el agua, por lo que la utilización del sargazo lavado no resultaría una solución ambientalmente viable.

CONCLUSIONES

1. El patrón de distribución de *Sargassum* spp durante el año 2019 estuvo relacionado con la latitud del punto de muestreo y no con la urbanización de la zona: cuanto más al sur el punto de muestro, mayor la concentración del sargazo en las costas.
2. El perfil químico del sargazo presente en la costa no difirió del perfil del sargazo varado en la arena, lo que significa que el nivel de urbanización en los puntos de muestreo no afectó ese perfil.
3. Las concentraciones de arsénico, cadmio y mercurio detectadas en el sargazo estuvieron por arriba de los límites permisibles para uso agrícola establecidos en la NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004.
4. El sargazo puede ser una fuente rica de potasio, que es un componente esencial de los fertilizantes.
5. Debido a la gran cantidad de potasio presente en el sargazo y a la capacidad de adsorción de fósforo de los suelos empleados en este estudio, no se pudo determinar si el sargazo (compostado o sin compostar) tiene la capacidad de adsorber fósforo o potasio.
6. El sargazo puede ser un recurso útil para diferentes fines; sin embargo, las cantidades de ciertos elementos presentes en la estructura del alga que arriba a las costas del Caribe, como el arsénico, representan un factor limitante para su uso.

REFERENCIAS

Abbas HS, Ismail MI, Mostafa MT, Sulaymon HA. Biosorption of heavy metals: a review. *Journal of Chemical Science and Technology*. 2014; 3(4): 74-102.

Acosta DF, Camacho-Torres YM, Andrés-López BC, Reyes-Germán C Germán E, Serrano P. Transformación electroquímica de un andisol en relación con la dinámica del fósforo. *Rev.Bio.Agro* 2020; 18(2): 94-103.

Aguilar-Martínez, P. Variación estacional de parámetros ambientales e hidrológicos de la laguna Chacmochuch, Quintana Roo. Tesis de maestría en Ciencias del Agua. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Cancún, Quintana Roo, México, 2015.

Aldape-Pérez, G. La configuración del espacio turístico en Cancún, Quintana Roo, México. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.

Amaral-Zettler LA, Dragone NB, Schell J, Slikas B, Murphy LG, Morrall CE, and Zettler ER. Comparative mitochondrial and chloroplast genomics of a genetically distinct form of *Sargassum* contributing to recent “Golden Tides” in the Western Atlantic. *Ecology and Evolution*. 2016; 7(2): 516–525.

Angell AR, Mata L, Nys R, Paul NA. The protein content of seaweeds: A universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *J. Appl. Phycol*. 2015; 28, 511–524.

AOAC International. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC, Arlington, USA, 2019. Disponible en: <http://www.eoma.aoac.org> [Consultado: septiembre 2019].

Ardron J, Halpin P, Roberts J, Cleary J, Russell M & Donnelly B. Where is the Sargasso Sea? A report submitted to the Sargasso Sea alliance. Sargasso Sea Alliance Science Report Series; 2011.

Areco MM, Dos Santos M. Biosorción: un método alternativo para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados. Química, sociedad y medio ambiente. Capítulo 33. 2011: 77-83.

Barrón-Escoto JV, García-Caballero AD, Moreno-Alcocer S, Rodríguez-Ontiveros A. Cinética de adsorción del As (III) en disolución acuosa utilizando como biosorbente *Sargassum fluitans*. XVII Encuentro Participación de la mujer en la ciencia. Septiembre, 2020. Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental, FQ-UAQ.

Barsanti L and Gualtieri P. Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. Boca Raton: Taylor & Francis; 2006.

Borines GM, Leon LR, Cuello LJ. Bioethanol production from the macroalgae *Sargassum* spp. Bioresource Technology. 2013; 138: 22–29.

Bristow LA, Mohr W, Ahmerkamp S, Kuypers MMM. Nutrients that limit growth in the ocean. Current Biology Magazine. 2017; R431-R510.

Brooks M, Coles VJ, Hood RR, Gower JFR. Factors controlling the seasonal distribution of pelagic sargassum. Mar. Ecol. Prog. Ser. 2018; 599: 1–18.

Burkholder JM, Glasgow HB, Cooke JE. Comparative effects of water column enrichment on eelgrass *Zostera marina*, shoal grass *Halodule wrightii* and widgeon grass *Ruppia maritima*. Marine Ecology Progress Series. 1994; 105, 121-138.

Butler JN, Morris BF, Cadwallader J, Stoner AW. Studies of *Sargassum* and of the *Sargassum* Community. Bermuda Biological Station, Special Publication No. 22 (Bermuda: Bermuda Biological Station); 1983.

Casas-Valdez M, Hernández-Contreras H, Marín-Álvarez A, Aguila-Ramírez RN, Hernández-Guerrero CJ, Sánchez-Rodríguez I, Carrillo-Domínguez S. El alga

marina *Sargassum* (Sargassaceae): una alternativa tropical para la alimentación de ganado caprino. *Revista de Biología Tropical*, 2006; 54(1):83-92.

CAST. Caribbean Alliance for Sustainable Tourism. *Sargassum: A Resource Guide for the Caribbean*; 2015.

Carruthers TJB, Van Tussenbroek B & Dennison WC. Influence of submarine springs and wastewater on nutrient dynamics of Caribbean seagrass meadows. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 2005; 64(2-3): 191-199.

Colombini I, Chelazzi L, Gibson RN and Atkinson RJA. Influence of marine allochthonous input on sandy beach communities. In: Gibson, R.N. & Atkinson R. J. A. eds. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* (1st ed.). Vol. 41, pp. 115-159. Taylor & Francis: London; 2003.

Corredor JE, Howarth RW, Twilley RR and Morell JM. Nitrogen cycling and anthropogenic impact in the tropical interamerican seas. *Biogeochemistry*. 1999; 46: 163–178.

Cortés-Páez LE, Bravo-Realpe IS, Martín-Peinado FJ, Menjivar-Flores JC. Adsorción de metales pesados en andisoles, vertisoles y ácidos húmicos. *Acta Agronómica*. 2014; 64 (1):61-71.

Cuizano AN, Navarro EA. Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *An. Quím.* 2008; 104(2): 120-125.

Davis TA, Volesky B, Vieira RHSF. *Sargassum* seaweed as biosorbent for heavy metals. *Water Res.* 2000; 34: 4270-4278.

Davis TA, Volesky B, Mucci A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae., *Water Research*. 2003; 37: 4311-4330.

Ding C, Li Z, Yan J, Jin J. Adsorption behavior of p-chlorophenol on the reed wetland soils. *J. Environ. Sci. Technol.* 2008; 1(4):169-174.

Doyle E, Franks J. Sargassum Fact Sheet. Gulf and Caribbean Fisheries Institute; 2015. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1969.3/28843> [Accesado: 10 Enero 2010].

Dreckmann KM, Sentías A. Los arribazones de algas marinas en el caribe mexicano: evento biológico natural o basura en las playas. CONABIO. Biodiversitas. 2013; 107:7-11.

El Financiero. ¿Escribir sobre sargazo? Esta cozumeleña te da el papel. 22/10/2018. [Actualizado: 22 Octubre 2018; Consultado: 25 Enero 2020] Disponible en: <https://www.elfinanciero.com.mx/peninsula/escribir-sobre-sargazo-esta-cozumelena-te-da-el-papel>

El Universal. Limpieza de sargazo costó 332 mdp en 2018. 7/05/2019 [Actualizado: 7 Mayo 2019 ; Consultado: 15 Enero 2020] Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/estados/limpieza-de-sargazo-costo-322-mdp-en-2018>

El Universal. Transforman PET y sargazo en zapatos ecológicos. 29/03/2019 [Consultado: 15 Ene 2020] Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/estados/transforman-pet-y-sargazo-en-zapatos-ecologicos>

El Universal. Descartan niveles preocupantes de sargazo. 9/01/2021 [Consultado: 10 Ene 2021] Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/descartan-niveles-preocupantes-de-sargazo>

EU (European Union) 2019. Commission Regulation (EU) 2019/1869 of 7 2019 amending and correcting Annex I to Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council as regards maximum levels for certain undesirable substances in animal feed. [Consultado: 2 Feb 2021] Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/1869/oj>

Espinosa-Bouchot, M. Plan para la recuperación ambiental de la Laguna de Bojórquez. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. HL001. México D.F, 2011.

Excelsior. La creatividad mexicana: fabricar casas con sargazo 26/06/2019 [Actualizado: 26 Jun 2019; Consultado: 5 Ene 2020] Disponible en: <https://www.excelsior.com.mx/nacional/la-creatividad-mexicana-fabricar-casas-con-sargazo/1312130>

Fernández F, Boluda CJ, Olivera J, Guillermo LA, Gómez B, Echavarría E, Mendis GA. Análisis elemental prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la República Dominicana durante 2015. Revista Centro Azúcar. 2017; 44: 11-22.

Fourqurean JW, Jones RD, Zieman JC. Process influencing water column nutrient characteristics and phosphorus limitation of phytoplankton biomass in Florida Bay, FL, USA: inferences from spatial distributions. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 1993; 36 (3): 295–314.

Fox RL, & Kamprath EJ. Phosphate Sorption Isotherms for Evaluating the Phosphate Requirements of Soils¹. Soil Science Society of America Journal. 1970; 34(6), 902.

Glibert P, Harrison J, Heil C, Seitzinger S. Escalating worldwide use of urea – a global change contributing to coastal eutrophication. Biogeochemistry. 2006; 77: 441–463.

González-Leija M, Mariño-Tapia I, Silva R, Enriquez C, Mendoza E, Escalante-Mancera E, Ruíz-Rentería F, Uc-Sánchez E. Morphodynamic Evolution and Sediment Transport Processes of Cancun Beach. Journal of Coastal Research, 2013; 290: 1146–1157.

Gower J, King S. Distribution of floating sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. *Int. J. Remote Sens.* 2011; 32, 1917–1929.

Gower J, Young E, King S. Satellite images suggest a new sargassum source region in 2011. *Remote Sensing Letters.* 2013; 4 (8): 764–773.

Gutiérrez-Benítez O, González-Álvarez J, Freire-Leira MS, Rodríguez-Rico IL, Moreira-González AR. Potencialidades de un biosorbente algal para la remoción de metales pesados. *Tecnología química.* 2014; 84: 82-93.

Guzmán FJ. Fertilizantes químicos y biofertilizantes. Reporte de Investigación. Dirección de Propuestas Estratégicas. CEDRSSA; 2018.

Hernández-Terrones L, Rebolledo-Vieyra M, Merino-Ibarra M, Soto M, Le-Cossec A. and Monroy-Ríos E. Groundwater pollution in a karstic region (NE Yucatan): Baseline nutrient content and flux to coastal ecosystems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2011; 218(1): 517-528.

Hodkings H, Mathew T, Morris D, Boswell J, Brumfield A, George RY, Hayden L. Quantifying Sargassum boundaries on Eastern and Western walls of the Gulf Stream protruding near cape hatteras near Sargasso Sea Bermuda/Azores. *IGARSS*, 2017; 2167-2170.

INEGI. Servicios. México en Cifras. Quintana Roo. [Actualizado: 2010-2015; Consultado: 15 Marzo 2020] Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=23>

Johnson DR, Ko DS, Franks JS, Moreno P and Sánchez-Rubio G. The Sargassum invasion of the Eastern Caribbean and dynamics of the Equatorial North Atlantic. pp. 102-103. In: *Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, November 5-9, 2012. Santa Marta, Colombia: Gulf and Caribbean Fisheries Institute; 2013.

Klock MK. Comparison of salvia growth in seaweed and biosolids compost. *Compost Sci. Util.* 2000; 8:24–28.

Lapointe BE, O'Connell JD and Garrett GS. Nutrient coupling between on-site sewage disposal systems, groundwaters, and nearshore surface waters of the Florida keys. *Biogeochemistry.* 1990; 10(3), 289–307.

Lapointe BE. A comparison of nutrient-limited productivity in *Sargassum natans* from neritic vs. oceanic waters of the western North Atlantic Ocean. *Limnology and Oceanography.* 1995; 40: 625–633.

Lapointe BE, West LE, Sutton TT and Hu C. Ryther revisited: nutrient excretions by fishes enhance productivity of pelagic *Sargassum* in the western North Atlantic Ocean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 2014; 458: 46-56.

Legator MS, Singleton CR, Morris DL and Philips DL. Health effects from chronic low level exposure to hydrogen sulfide. *Archives of Environmental Health: An International Journal.* 2001; 56: 123-131.

López-Peña PZ. Análisis de los efectos del enriquecimiento de nutrientes continentales en la vegetación acuática sumergida de la costa norte de Quintana Roo, México. Tesis de maestría en Ciencias del Agua. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Cancún, Quintana Roo, México; 2016.

Mann, H. B. and D. R. Whitney. On a test whether one of two random variables is stochastically larger than the other, *Annals of Mathematical Statistics.* 1947; 18, 50–60.

Marín A, Casas VM, Carrillo S, Hernández H, Monroy A, Sanginés L, Pérez GF. The marine algae *Sargassum* spp. (Sargassaceae) as feed for sheep in tropical and subtropical regions. *Rev. Biol. Trop.* 2009; 57(4): 1271-1281.

Marshall, J. P., and Wilcox, H. How Green and Does it Clean. *Developments in Surface Contamination and Cleaning* 2015; 1–69.

Maurer AS, De Neef E and Stapleton S. *Sargassum* accumulation may spell trouble for nesting sea turtles. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2015; 13(7): 394–395.

Michalak I, Chojnacka K, Witek-Krowiak A, 2013. State of the art for the biosorption process—a review. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 170, 1389–1416.

Moreira L and Suárez AM. Estudio del género *Sargassum* C. Agardh, 1820 (Phaeophyta, Fucales, Sargassaceae) en aguas cubanas. 4- Reproducción sexual en *Sargassum natans* (Linnaeus) Meyer y *S. fluitans* Børgesen. *Revista de Investigaciones Marinas*. 2002; 23(1): 63-65.

Moreira A, Alfonso G. Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* en la costa centro-sur de Cuba., *Rev. Invest. Mar.* 2013; 33 (2): 17-20.

Muth AF, Congdon VM. Seaweeds and Seagrasses. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 3rd Edition. Port Aransas, TX, United States: University of Texas Marine Science Institute; 2018.

Nielsen, 1998.

Nixon SW. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*. 1995; 41(1): 199-219.

Null KA, Knee KL, Crook ED, de Sieyes NRM, Rebolledo-Vieyra L, Hernández-Terrones L y Paytan A. *Continental Shelf Research*. 2014; 77: 38-50.

NOAA. National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Analysis for Annual 2015. (2016). Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513> (Accesado: 2/11/2019).

NOAA. What is eutrophication? National Ocean Service website. Disponible en: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/eutrophication.html> (Accesado: 10/05/17).

Oviatt CA, Huizenga K, Rogers CS, Jeff WM. What nutrient sources support anomalous growth and the recent sargassum mass stranding on Caribbean beaches? A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2019; 145: 517–525.

Okeola FO, Odebunmi EO. Comparison of Freundlich and Langmuir isotherms for adsorption of Methylene Bleu by agrowaste derived activated Carbon. *Adv. Environ. Biol*. 2010; 4(3):329-335.

Ortega N, Nuñez O. Adsorción de aldehídos insaturados sobre TiO₂. *Av. Cien. Ing*. 2012; 3(1):81-91.

Oviatt CA, Huizenga K, Rogers CS, Jeff WM. What nutrient sources support anomalous growth and the recent sargassum mass stranding on Caribbean beaches? A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2019; 145: 517–525.

Oyesiku OO, Egunyomi A. Identification and chemical studies of pelagic masses of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon and *S. fluitans* (Borgessen) Borgesen (Brown algae), found offshore in Ondo State, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 2014;13:1188-1193.

Panda DKP, Nayak B. Use of seaweed extracts as plant growth regulators for sustainable agriculture. *Intl. J. Bio-resource Stress Mgt*. 2012; 3:404–411.

Piriou JY y Menesguen A. Environmental factors controlling the *Ulva* spp. Blooms in Brittany (France). In: *Proceedings of the 25th European Marine Biology Symposium* (eds Colombo G, Ferrari I, Ceccherelli VU, Rossi R), pp. 111-116. Olsen & Olsen, Fredensborg; 1992.

Putman NF, Goni GJ, Gramer LJ, Hud C, Johns EM, Trinanes J, Wang M. Simulating transport pathways of pelagic *Sargassum* from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*. 2018; 165: 205-214.

Richardson K, Jørgensen BB. Eutrophication: definition, history and effects. *Eutrophication in Coastal Marine Ecosystems*. 1996; 1-19.

Rioja-Nieto R, Garza-Pérez R, Álvarez-Filip L, Ismael MT, Cecilia E. The Mexican Caribbean: From Xcalak to Holbox. *World Seas: An Environmental Evaluation*. 2019; 637–653.

Rodríguez-Martínez RE, Van Tussenbroek BI, Jordán-Dahlgren E. Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014–2015). *In: García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S.I., Olivos-Ortiz, A., Núñez-Vázquez, S.J. y (Eds.), Florecimientos Algales Nocivos en México*. CICESE, Ensenada, México, 2016. Pp: 352–365.

Rodríguez-Martínez RE, Roy PD, Torrescano-Valle N, Cabanillas-Terán N, Carrillo-Domínguez S, Collado-Vides L, García-Sánchez M, van Tussenbroek BI. 2020. Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *PeerJ*. 2020; 8:e8667.

Roe HSJ, Inniss L, Laffoley D.d'A, Morrison K, Rice J, Trott T, Freestone D. Chapter 50. Sargasso Sea. United Nations; 2016.

SAFMC. South Atlantic Fishery Management Council. Fishery management plan for pelagic *Sargassum* habitat of the South Atlantic region. 2002; 1-153.

SECTUR-CONACYT. El problema del sargazo en México en el 2018. *La Jornada Ecológica*. Artículos; 2018. Disponible en: <http://ecologica.jornada.com.mx/2019/08/25/el-problema-del-sargazo-en-mexico-en-el-2018-8882.html> (Accesado: 13/12/2019).

SEMA-QROO. Sistema de Consulta de las Actividades de Remoción de Sargazo. (Actualizado: 30 Mayo 2019; Consultado: 5 Enero 2020) Disponible en: <http://sargazo2018.semagroo.gob.mx/>

Sembera JA, Meier JE, M. Waliczek MT. Composting as an Alternative Management Strategy for Sargassum Drifts on Coastlines. Horttechnology. 2018; 28(1).

Schell JM, Goodwin DS and Siuda ANS. Recent Sargassum inundation events in the Caribbean: Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. Oceanography. 2015; 28(3): 8-10.

Shapiro SS, and Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika. 1965; 52(3-4), 591–611.

Széchy MTM de, Guedes PM, Baeta-Neves MH and Oliveira EN. Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. Check List. 2012; 8(4), 638.

U.S. Composting Council. Test methods for the examination of composting and composts. Composting Council Res. Educ. Foundation, Holbrook, NY; 2002.

USDA-NRCS. Heavy Metal Soil Contamination. Soil Quality – Urban Technical Note No.3, 2000.

Van Engeland T, Bouma T, Morris E, Vrun F, Peralta G, Lara M, Hendriks I, Soetaert K, Middelburg J. Potential Uptake of Dissolved Organic Matter by Seagrasses and Macroalgae. Marine Ecology Progress Series. 2011; 427: 71–81.

Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BE. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 1991; 74: 3583-4597.

Van Tussenbroek BI, Hernández AHA, Rodríguez MRE, Espinoza AJ, Canizales FHM, González GCE, Barba SMG, Vega ZA, Collado VL. Severe impacts of

brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*. 2017; 122: 272-281.

Volesky B, Holan ZR. Biosorption of heavy metals. *Biotechnol. Prog.* 1995; 11: 235-250.

Vonk JA, Middelburg JJ, Stapel J, Bouma TJ. Dissolved organic nitrogen uptake by seagrasses. *Limnol. Oceanogr.* 2008; 53 (2): 542–548.

Wang M, Hu C. Mapping and quantifying *Sargassum* distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*. 2016; 183: 350-367.

Wikipedia. Deficiencia de potasio. (Actualizado: 25 Marzo 2020; Consultado: 1 Abril 2021) Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Deficiencia_de_potasio

Wischnat S. The potential use of pelagic algae (*Sargassum* spp) as supplement to animal nutrition in coastal regions of Costa Rica: A case of study of smallholder egg production systems on the Atlantic coast (Tesis de Maestría). Hohenheim, Alemania: University of Hohenheim; 2013.

Yang X, Wu X, Hao H, He Z. Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University Sci B*. 2008; 9(3):197-209.

Yokoyama S, Jonouchi K and Imou K. Energy production from marine biomass: fuel cell power generation driven by methane produced from seaweed. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2007; 28, 320-323.

Zimmerman CF, Montgomery JR y Carlson PR. Variability of dissolved reactive phosphate flux rates in nearshore estuarine sediments: Effects of groundwater flow. *Estuaries*. 1985; 8: 228–236.

Zodape ST. Seaweeds as a biofertilizer. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2001; 60(5): 378-382.

ANEXOS

ANEXO I. Bases de datos generadas a partir de la plataforma Observatorio Ciudadano del Sargazo para el periodo de mayo – noviembre 2019.

Observaciones mayo 2019																				
Día	Holbox	Isla Contoy	Isla Blanca	Isla Mujeres	Puerto Cancún	Playa Tortugas	Playa Delfines	Playa Riviera	Puerto Morelos	Playa del Carmen (88)	Playa mimitas	Xcaret	Cozumel Oeste	Cozumel Este	Playa Xpu Ha	Akumal	Xcabel	Tulum	Mahahual	Xcalak
1																				
2	1	1		1	2	2	3	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	
3	1	1		1			2						1							
4	1	1		1								1								
5																				
6																				
7																				
8					1	1	2	3												
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15		1	3	1	2	1	2	4	4	4	4	4	1		4					
16																				
17	0	0		0	1	0	0					0								
18									3	3	3	3					3			
19																				
20					2	1	3	3	4	4	4	4			4			3		
21					1	1	1				3					3		3	3	
22																3				
23																				
24	1		1	1	1	1	1	3	4	4	4	4	1	4				4	4	
25																				
26					1	1	1								4	4		4		4
27	0	0		0	1	1	1			3			1	3			1		1	
28	0	0		0					3	3						4		3		
29						0	0			4										
30					2	1	1	4											4	3
31			1	1	1					4			1	4	4	4		4		
MODA	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	1	4	4	4	3	4	4	4

Escala del 0 al 4 para la variable 'Intensidad de recale apreciada', donde 0 = "sin sargazo", 1 = "con poco sargazo", 2 = "con sargazo moderado", 3 = "con sargazo abundante", 4 = "con sargazo excesivo".

Observaciones junio 2019																				
Día	Holbox	Isla Contoy	Isla Blanca	Isla Mujeres	Puerto Cancún	Playa Torugas	Playa Delfines	Playa Riviera	Puerto Morelos	Playa del Carmen (88)	Playa mimitas	Xcaret	Cozumel Oeste	Cozumel Este	Playa Xpu Ha	Akumal	Xcaceel	Tulum	Mahahual	Xcalak
1					2	1	2	4								3	3			
2	0		0	1	1	1	2	4							2			3	4	
3					2	2	2			4						4	3			
4	1		2	2	1	1	2			4							4	4		
5					1	1	2	4	3	4										
6				0			0			4								4	3	3
7	0				1	1	2	4										4	4	
8	1	1	1	1	1	1	2	4	4	3	4	3	1	4	4	4	3	4	4	3
9										3	1	3			3					
10	1	1	2	1	1	1	2	4	4	3	1	3	1	4	1	4	3	4	2	4
11	1	1	2	1	1	1	2	4	4	4	2	1	1	4	1	4	4	4	3	4
12	1	1	1	1	1	1	1	4	3	4	1	1	1	4	1	3	4	3	3	4
13	1	1	1	1	1	1	2	4	4	4	2	1	1	4	2	3	4	4	3	4
14	1	1	1	1	1	1	2	4	4	4	2	1	1	4	2	3	4	4	4	4
15	1	1	1	1	1	1	2	3	3	2	2	1	1	4	2	2	3	4	4	4
16					1	1	2	3	3	2	2	1	1	4	2	2	3	4	4	4
17				1	1	1	1	3	3	4	3	1	1	4	2	2	3	3	1	
18				1					4	4	4	2			2					
19	1	1	2	1	1	1	2	3	3	2			1	4	2	2	3	4		
20					1	1	2	3												
21	1	1	1	1	2	2	1	3	4	4	4	2	1	4	2	2	3	4		
22	1	1	1	1	3	3	2	3	4	4	3	2	1	4	3	2	3	4		
23																				
24	0																			
25					1	1	1	3	3	3	3	2								
26	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	1	4	2	4	4	4	3	4
27	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	2	2	1	4	2	3	4	4	3	4
28	1	1	1	1	1	1	1	3	3	4	2	2	1	4	2	2	4	4	3	4
29	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	1	1	4	1	2	4	4	3	4
30	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	1	1	4	1	2	4	4	3	4
MODA	1	1	1	1	1	1	2	3	3	4	2	1	1	4	2	2	3	4	3	4

Escala del 0 al 4 para la variable 'Intensidad de recalc apreciada', donde 0 = "sin sargazo", 1 = "con poco sargazo", 2 = "con sargazo moderado", 3 = "con sargazo abundante", 4 = "con sargazo excesivo".

Observaciones julio 2019																				
Día	Holbox	Isia Contoy	Isia Blanca	Isia Mujeres	Puerto Cancún	Playa Tortugas	Playa Delfines	Playa Riviera	Puerto Morelos	Playa del Carmen (88)	Playa mamitas	Xcaret	Cozumel Oeste	Cozumel Este	Playa Xpu Ha	Akumal	Xcaceel	Tulum	Mahahual	Xcalak
1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	1	1	4	1	2	2	3	2	4
2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	1	4	2	2	3	4	2	4
3	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	1	2	1	4	2	2	3	4	2	4
4	1	1	2	1	1	1	2	3	3	1	1	2	1	4	3	2	3	4	2	4
5	1	1	2	1	1	1	2	3	3	1	1	2	1	4	2	1	3	4	3	4
6	1	1	2	1	1	1	1	3	3	1	1	2	1	4	2	2	3	4	3	4
7	1	1	2	1	1	1	2	3	3	2	1	2	1	4	2	2	3	4	3	4
8	1	1	2	1	1	1	2	3	3	2	1	2	1	4	2	3	3	4	3	4
9	1	1	2	1	1	1	1	4	3	1	1	2	1	4	2	3	3	4	3	4
10	1	1	2	1	1	1	3	4	3	1	1	2	1	4	2	3	3	4	3	4
11	1	1	1	1	1	1	2	4	3	2	2	2	1	4	3	3	4	4	3	4
12	1	1	1	1	1	1	1	4	1	3	3	2	1	4	2	3	4	4	2	4
13	1	1	1	1	1	1	1	4	1	3	3	2	1	4	2	2	4	4		
14	1	1	1	1	1	1	2	4	2	3	3	2	1	4	1	2	4	4	3	4
15	1	1	1	1	1	1	2	3	3	2	2	2	1	4	2	4	4	4		
16	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	1	2	1	4	2	3	4	4		
17	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	2	2	1	4	2	2	4	4		
18	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	1	2	1	4	2	3	4	4		
19	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3	2	2	1	4	2	2	4	4		
20	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3	2	2	1	4	2	2	4	4		
21	1	1	1	1	1	1	3	3	2	3	2	2	1	4	3	2	4	4		
22	1	1	1	1	1	1	3	4	2	3	2	2	1	4	3	3	4	4	4	
23	1	1	1	1	1	1	2	4	2	3	1	2	1	4	3	3	4	4		
24	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3	1	2	1	4	2	3	4			
25	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	1	2	1	4	2	3	4			
26	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	2	1	4	2	4	3	4	3	
27	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	2	1	3	2	3	3	4		
28	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	2	1	3	2	3	2	4		
29	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	2	1	3	2	1	2	4		
30	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	2	1	3	2	1	2	4	3	
31	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	2	1	3	1	1	2	4		
MODA	1	1	1	1	1	1	2	3	2	3	1	2	1	4	2	3	4	4	3	4

Escala del 0 al 4 para la variable 'Intensidad de recale apreciada', donde 0 = "sin sargazo", 1 = "con poco sargazo", 2 = "con sargazo moderado", 3 = "con sargazo abundante", 4 = "con sargazo excesivo".

Observaciones agosto 2019																				
Día	Holbox	Isla Contoy	Isla Blanca	Isla Mujeres	Puerto Cancún	Playa Tortugas	Playa Delfines	Playa Riviera	Puerto Morelos	Playa del Carmen (88)	Playa mimitas	Xcaret	Cozumel Oeste	Cozumel Este	Playa Xpu Ha	Akumal	Xcabel	Tulum	Mahahual	Xcalak
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	3	1	1	3	4		
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	3	1	1	2	2		
3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	3	1	1	2	2		
4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2		
5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	3		
6	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	3		
7	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	
8	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	1	1	1	2	2	2	2	3		
9	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2		
10	1	1	1	1	1	2	1	3	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2		
11																				
12	1	1	1	1	1	2	1	3	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2		
13	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	1	1	1	3	2	2	2	3		
14																				
15					1	2	2													
16	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1	3	2	2	3	3		
17	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1	3	2	2	3	4		
18	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1	3	2	2	3	4		
19	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	1	1	1	3	2	2	3	3		
20	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	1	1	1	3	2	2	3	3		4
21	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	3	1	2	3	3		4
22	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	1	2	3	3		
23	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	1	2	3	3		
24	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	1	3	3	3		
25	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	1	2	2	2		
26	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	1	2	2	2		
27	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	1	2	2	2	1	3
28	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	1	1	3	2	2	3	2	3	3
29	1	0	1	0	1	1	1	3	2	2	1	0	1	3	2	2	3	2	3	3
30	1	0	1	0	1	1	1	3	2	2	1	0	1	3	2	2	3	2	2	3
31	1	0	1	0	1	1	1	3	2	2	1	0	2	3	2	2	3	2	2	3
MODA	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	3	2	2	3	2	2	3

Escala del 0 al 4 para la variable 'Intensidad de recale apreciada', donde 0 = "sin sargazo", 1 = "con poco sargazo", 2 = "con sargazo moderado", 3 = "con sargazo abundante", 4 = "con sargazo excesivo".

Observaciones septiembre 2019																				
Día	Holbox	Isla Contoy	Isla Blanca	Isla Mujeres	Puerto Cancún	Playa Tortugas	Playa Delfines	Playa Riviera	Puerto Morelos	Playa del Carmen (88)	Playa mamitas	Xcaret	Cozumel Oeste	Cozumel Este	Playa Xpu	Akumal	Xcabel	Tulum	Mahahual	Xcalak
1	1	0	1	0	1	1	1	3	2	2	1	0	2	3	2	2	2	2	2	3
2	1	0	1	0	1	1	1	2	1	1	1	0	1	3	2	2	2	2	2	3
3	1	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	0	1	3	2	1	2	2	2	3
4	1	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	0	1	3	2	1	2	2	2	3
5	1	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	0	1	3	2	1	2	2	2	3
6	1	0	1	0	1	1	0	2	1	1	1	1	1	3	2	1	2	2	2	3
7	0	0	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	2	1	2	2	2	3
8	0	0	1	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1	2	2	2	3
9	0	0	1	0	1	1	2	2	3	1	1	1	1	3	1	1	2	2	2	3
10	0	0	1	0	1	1	1	2	3	1	0	0	1	3	1	1	3	2	2	3
11	0	0	1	0	1	1	1	2	3	1	0	0	1	3	1	1	2	2	2	3
12	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	3	1	1	2	2	2	3
13	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	3	1	1	2	2	2	3
14	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	3	1	1	2	2	2	3
15	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	3	1	1	1	2	2	3
16	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	3	1	1	1	2	2	3
17	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	1	1	2	2	3
18	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	1	1	2	2	3
19	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	1	1	2	2	3
20	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	1	1	2	2	3
21	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	1	1	2	2	3
22	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	2	1	2	2	3
23	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	2	1	2	2	3
24	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	2	1	2	2	3
25	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	2	2	1	2	2	3
26	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	1	1	2	2	2	2
27	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	1	1	2	2	2	2
28	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	1	1	2	2	2	2
29	0	0	1	0	1	1	1	1	2	1	1	0	1	2	1	2	2	2	2	2
30	0	0	1	0	1	1	1	1	2	1	1	0	1	2	1	2	2	2	2	2
MODA	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	3	2	1	2	2	2	3

Escala del 0 al 4 para la variable 'Intensidad de recale apreciada', donde 0 = "sin sargazo", 1 = "con poco sargazo", 2 = "con sargazo moderado", 3 = "con sargazo abundante", 4 = "con sargazo excesivo".

Observaciones octubre 2019																				
Día	Holbox	Isla Contoy	Isla Blanca	Isla Mujeres	Puerto Cancún	Playa Tortugas	Playa Delfines	Playa Riviera	Puerto Morelos	Playa del Carmen (88)	Playa mimitas	Xcaret	Cozumel Oeste	Cozumel Este	Playa Xpu Ha	Akumal	Xcabel	Tulum	Mahahual	Xcalak
1	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	2	1	2	3	2	2	2
2	0	0	1	0	1	1	1	2	3	1	0	0	1	2	1	2	3	2	2	2
3	0	0	1	0	1	1	1	2	3	1	0	0	1	2	1	2	3	2	2	2
4	0	0	1	0	1	1	1	2	3	1	0	0	1	2	1	2	3	2	2	2
5	0	0	1	0	1	1	1	2	3	1	0	0	1	2	1	2	3	2	2	2
6	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	1	0	0	2	0	1	1	2	2	2
7	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	1	0	0	2	0	1	1	2	2	2
8	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	1	0	0	2	0	1	1	2	2	2
9	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1	1	0	0	2	0	1	1	2	2	2
10	0	0	1	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	2	0	1	1	1	2	2
11	0	0	1	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	2	0	1	1	1	2	2
12	0	0	1	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	2	0	1	1	1	2	2
13	0	0	1	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	2	0	1	1	1	2	2
14	0	0	1	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	2	0	1	1	1	2	2
15	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2
16	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2
17	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2
18	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2
19	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2
20	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
21	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
22	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
23	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
24	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
25	0	0	1	0	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
26	0	0	1	0	1	0	1	2	2	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2
27	0	0	1	0	1	0	1	2	2	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2
28	0	0	1	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2
29	0	0	1	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	2
30	0	0	1	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	1	1	2	1	2
31	0	0	1	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	1	1	2	1	2
MODA	0	0	1	0	1	1	1	1	2	1	0	0	0	2	1	1	1	1	1	2

Escala del 0 al 4 para la variable 'Intensidad de recale apreciada', donde 0 = "sin sargazo", 1 = "con poco sargazo", 2 = "con sargazo moderado", 3 = "con sargazo abundante", 4 = "con sargazo excesivo".

Observaciones noviembre 2019																				
Día	Holbox	Isla Contoy	Isla Blanca	Isla Mujeres	Puerto Cancún	Playa Tortugas	Playa Delfines	Playa Riviera	Puerto Morelos	Playa del Carmen (88)	Playa mimitas	Xcaret	Cozumel Oeste	Cozumel Este	Playa Xpu Ha	Akumal	Xcabel	Tulum	Mahahual	Xcalak
1																				
2																				
3																				
4	0	0	1	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
5	1	0	1	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
6																				
7	2	0	1	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13	3	0	1	0	0	0	1	2	3	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20	2	0	1	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				
30																				
MODA	2	0	1	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1

Escala del 0 al 4 para la variable 'Intensidad de recale apreciada', donde 0 = "sin sargazo", 1 = "con poco sargazo", 2 = "con sargazo moderado", 3 = "con sargazo abundante", 4 = "con sargazo excesivo".

ANEXO II. Registro de pesos obtenidos durante el proceso de compostaje.

Pesos iniciales (g)											
14-nov-2019					18-nov-19		19-nov-19		20-nov-19		
Tx	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)	Peso (g)	% Agua perdida	Peso (g)	% Agua perdida	Peso (g)	% Agua perdida	
1	39.130	41.12	90.96	151.18	150.86	0.53	150.47	1.18	149.86	2.19	
2	39.305	41.275	91.161	145.78	145.64	0.26	145.09	1.26	144.47	2.40	
3	40.650	42.625	92.465	142.58	141.51	2.14	141.07	3.01	140.43	4.29	
4	39.524	41.501	91.408	136.49	135.85	1.42	135.44	2.33	135	3.31	
5	40.156	42.131	91.986	130.88	130.09	2.03	129.7	3.03	129.08	4.63	
6	39.395	41.36	91.281	126.35	125.93	1.20	125.65	2.00	125.24	3.17	
7	39.375	41.336	91.261	151.4	150.89	0.85	150.63	1.28	150.14	2.10	
8	39.265	41.235	91.116	143.35	142.57	1.49	142.15	2.30	141.74	3.08	
9	40.385	42.353	92.2	137.17	136.35	1.82	135.95	2.71	135.34	4.07	
10	40.247	42.216	92.102	136.26	135.75	1.15	135.02	2.81	134.27	4.51	
11	39.422	41.392	91.268	119.38	118.79	2.10	118.36	3.63	117.81	5.58	
12	39.388	41.363	91.271	111.3	110.72	2.90	109.96	6.69	109.34	9.79	

25-nov-19		26-nov-19		27-nov-19			28-nov-19		29-nov-19		
Tx	Peso (g)	% Agua (-)	Peso (g)	% Agua (-)	Peso (g)	% Agua (-)	Peso* (g)	Peso (g)	% Agua (-)	Peso (g)	% Agua (-)
1	148.91	3.77	148.7	4.12	148.36	4.68	151.38	151.26	-0.13	151.15	0.05
2	143.28	4.58	143.11	4.89	142.86	5.35	145.75	145.67	0.20	145.58	0.37
3	139.29	6.56	139.13	6.88	138.87	7.40	142.59	142.47	0.22	142.37	0.42
4	134.18	5.12	133.91	5.72	133.68	6.23	136.58	136.48	0.02	136.39	0.22
5	127.81	7.89	127.7	8.18	127.49	8.72	130.84	130.76	0.31	130.69	0.49
6	124.24	6.02	124.08	6.47	123.81	7.24	126.26	125.98	1.06	125.92	1.23
7	149.21	3.64	149.03	3.94	148.72	4.46	151.4	151.27	0.22	151.18	0.37
8	140.79	4.90	140.59	5.28	140.23	5.97	143.5	143.4	-0.10	143.32	0.06
9	133.87	7.34	133.67	7.78	133.34	8.52	137.19	137.02	0.33	136.91	0.58
10	132.17	9.26	131.94	9.78	131.62	10.51	136.22	136.05	0.48	135.95	0.70
11	116.14	11.53	115.96	12.17	115.58	13.52	119.42	119.29	0.32	119.19	0.68
12	107.68	18.07	107.45	19.22	107.15	20.72	111.28	111.15	0.75	111.07	1.15

*Después de la hidratación.

	02-dic-19		03-dic-19		04-dic-19		05-dic-19		06-dic-19	
Tx	Peso (g)	%Agua (-)								
1	150.71	0.78	150.53	1.08	150.3	1.46	149.72	2.42	149.68	2.49
2	145.17	1.12	144.92	1.57	144.73	1.92	144.34	2.64	144.24	2.82
3	141.94	1.28	141.75	1.66	141.51	2.14	141.16	2.83	141.05	3.05
4	135.96	1.18	135.75	1.64	135.57	2.04	135.23	2.79	135.12	3.04
5	130.36	1.34	130.18	1.8	130	2.26	129.73	2.96	129.64	3.19
6	125.58	2.2	125.32	2.94	125.08	3.62	124.75	4.56	124.66	4.82
7	150.73	1.11	150.5	1.5	150.24	1.93	149.74	2.76	149.65	2.91
8	142.91	0.84	142.69	1.26	142.41	1.8	141.78	3.01	141.61	3.33
9	136.16	2.25	135.88	2.87	135.54	3.62	134.99	4.85	134.86	5.14
10	135.46	1.81	135.07	2.69	134.78	3.35	134.31	4.42	134.16	4.76
11	118.65	2.6	118.42	3.41	118.04	4.77	117.61	6.3	117.5	6.69
12	110.65	3.25	110.25	5.24	109.89	7.04	109.34	9.79	109.1	10.98

	09-dic-19		10-dic-19		11-dic-19		16-dic-19		20-dic-19	
	PRE-SECADO						POST-SECADO			
Tx	Peso (g)	% Agua (-)	Peso (g)	% Agua (-)	Peso (g)	% Agua (-)	Peso (g)	% Agua (-)	Peso (g)	% Agua (-)
1	149.18	3.32	148.96	3.69	148.79	3.97	147.65	5.86	83.25	112.8
2	143.63	3.94	143.51	4.16	143.32	4.5	142.3	6.37	82.03	116.72
3	140.47	4.21	140.23	4.69	140.05	5.05	139.06	7.02	83.54	117.81
4	134.46	4.5	134.29	4.88	134.13	5.23	133.22	7.25	82.97	118.72
5	129.28	4.11	129.14	4.47	129	4.83	128.23	6.81	83.86	120.89
6	124.29	5.87	124.1	6.42	123.95	6.84	123.21	8.95	84.05	120.62
7	149.05	3.91	148.79	4.34	148.57	4.71	147.41	6.63	83.18	113.44
8	141.16	4.19	140.98	4.54	140.74	5	139.72	6.95	83.12	115.31
9	134.29	6.4	134.05	6.94	133.82	7.45	132.64	10.07	84.34	117.48
10	133.52	6.2	133.15	7.04	132.89	7.63	131.64	10.46	84.79	116.56
11	117.01	8.43	116.56	10.03	116.13	11.56	115.01	15.54	84.38	124.5
12	108.38	14.58	107.92	16.88	107.32	19.87	106.19	25.51	85.41	129.26

ANEXO III. Perfil de fibras realizado.

Prueba Analisis de Fibra en Muestras de Sargazo					
Núm	Identificacion Campo	Peso Seco (g)	FC (%)	FDN (%)	FDA (%)
1	Tulum VM	119.6	15.0	25.2	78.6
			14.6	25.5	81.0
			15.1	25.3	79.7
2	Mahahual VA	206.4	16.2	25.8	83.3
			14.7	25.4	82.9
			15.8	25.1	82.1
3	Playa del Carmen VM	118.4	15.4	25.3	85.4
			16.0	25.8	86.0
			15.9	25.5	85.6
4	Punta Allen VA	155.9	15.6	25.9	77.7
			18.7	25.8	76.7
			16.5	25.3	78.1
5	Mahahual VM	128.9	15.4	29.6	71.6
			15.4	26.1	74.9
			15.8	27.3	73.7
6	Puerto Morelos VM	127.5	15.2	25.4	78.8
			14.9	25.5	77.9
			15.0	25.1	78.0
7	Cancún VM	124.3	15.6	26.2	81.0
			15.2	26.1	81.0
			15.3	26.4	81.3
8	Cancún VA	137.7	22.6	25.9	80.1
			20.3	27.6	76.4
			21.2	26.2	79.7
9	Punta Allen VM	144.3	14.3	27.1	75.7
			15.4	25.0	78.9
			14.9	26.4	76.3
10	Puerto Morelos VA	89.3	14.6	27.4	70.1
			13.8	27.5	70.0
			14.2	27.0	71.5
11	Playa del Carmen VA	84.5	14.5	20.0	61.4
			17.9	22.2	60.6
			15.7	20.9	61.3
12	Altamar	122.0	19.5	31.9	69.1
13	Altamar	131.7	15.2	28.1	72.4
14	Altamar	102.5	16.3	26.8	75.3
15	Altamar	119.0	17.6	27.3	75.4
16	Altamar	100.2	15.4	26.5	68.7
17	Altamar	138.5	15.0	25.5	71.4
18	Altamar	81.1	14.0	28.1	73.9
19	Altamar	98.7	14.8	24.6	76.2
20	Altamar	100.2	15.3	28.2	70.4
21	Altamar	125.8	16.1	26.1	72.1
22	Altamar	186.2	17.2	25.3	73.5