

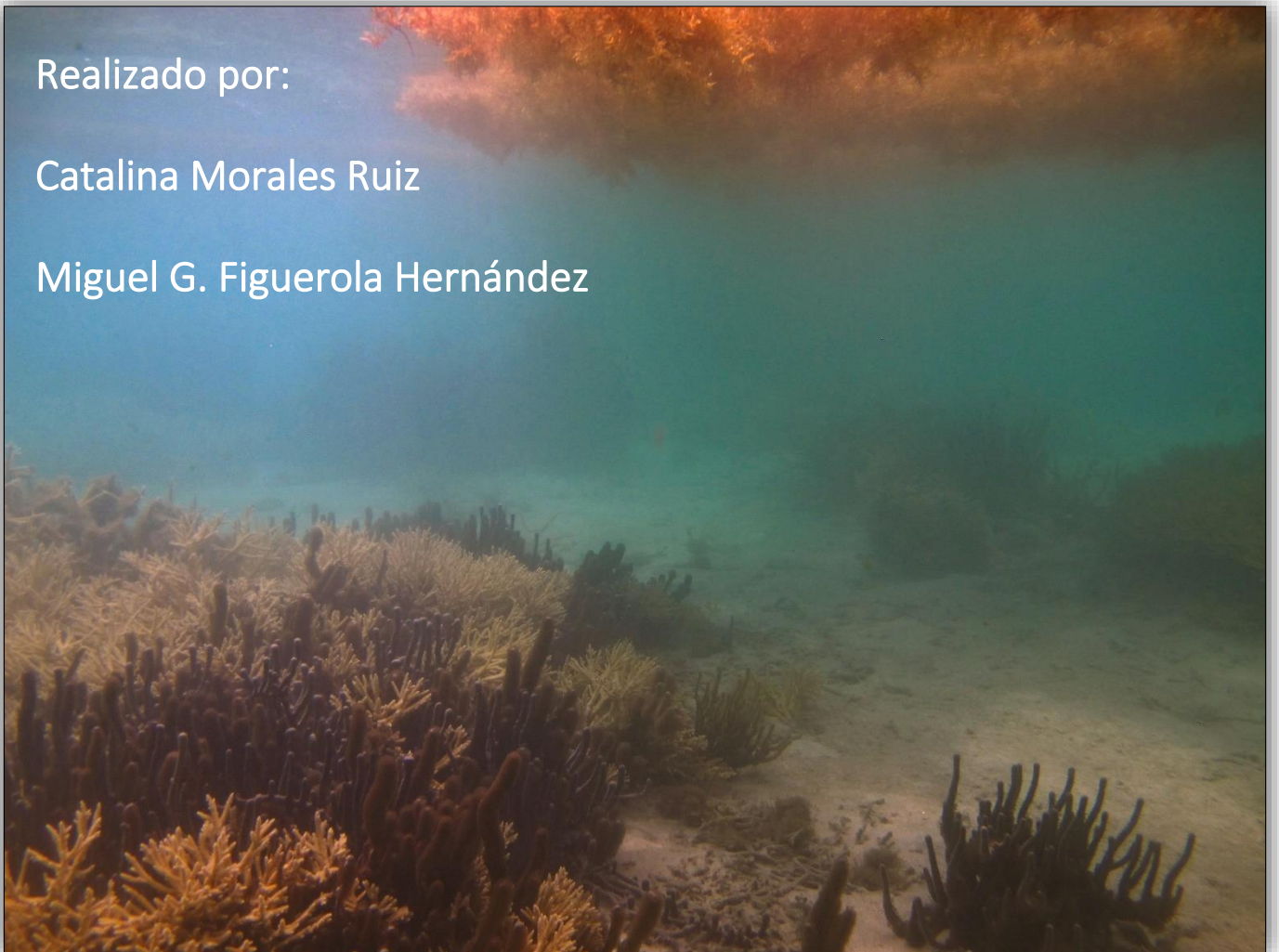
Informe del estado de conocimiento (*State of the knowledge*) sobre los impactos de sargazo en arrecifes de coral

Abril, 2021

Realizado por:

Catalina Morales Ruiz

Miguel G. Figuerola Hernández



Sometido al Programa de Conservación y Manejo de Arrecifes de Coral del Departamento de recursos naturales y ambientales de Puerto Rico

Contrato # 2021000044 - Figuerola Hernández, Miguel Gerardo SP



Contenido

Resumen	2
Sargazo en el Caribe.....	3
Investigaciones del sargazo en Puerto Rico	4
Impactos socioeconómicos.....	6
Impactos ambientales.....	7
Impactos a los arrecifes de coral.....	10
Estrategias de manejo y mitigación en el Caribe.....	13
Necesidades de investigación y monitoreo en base a los posibles impactos para los arrecifes..	16
Recomendaciones de manejo.....	17
Bibliografía	18



Resumen

A partir del 2011, en mar caribe la acumulación masiva de sargazo pelágico ha sido recurrente. Desde entonces, se ha observado por medio de imágenes satelitales lo que los investigadores llaman El Gran Cinturón Atlántico de Sargazos (GASB por sus siglas en ingles). GASB en muchos casos se ha extendido desde África occidental hasta el golfo de México. Varios investigadores sugieren que entre las causas de estos grandes afloramientos de sargazo está el aumento de la carga de nutrientes en la cuenca atlántica a través de las descargas de los ríos, debido a la deforestación y otros cambios en el uso de la tierra río arriba, el aumento del polvo del Sahara, el cambio en los patrones de surgencia frente a la costa noreste de África, aumento de la temperatura del mar, entre otros factores. Al llegar a las costas estas masas de algas causan diversos impactos ambientales, económicos y sociales. En las playas la acumulación y posterior descomposición de estas algas genera unos lixiviados que se conocen como mareas marrones de sargazo, estas mareas tornan el agua marrón disminuyendo la luz, los niveles de oxígeno disuelto y el pH, mientras aumenta la temperatura y las cargas de nutrientes. Estas mareas marrones afectan enormemente a los ecosistemas costeros como lo son las praderas de hierbas marinas, los manglares y los arrecifes de coral. En esta revisión de literatura se expone el problema del sargazo en el caribe, pasando por los impactos socioeconómicos y ambientales a nivel del caribe. Aunque la mayoría de los estudios revisados sobre impactos ambientales se han realizado en México, este reporte recopila lo que se conoce para Puerto Rico en cuanto al monitoreo del sargazo e impactos a ecosistemas costeros. También se mencionan las estrategias de mitigación que han tenido en algunos sectores del Caribe y se finaliza con algunas recomendaciones y sugerencias sobre las necesidades de investigación para evaluar los impactos de estos grades arribazones de sargazo sobre los arrecifes de coral de Puerto Rico.



Sargazo en el Caribe

Desde 2011, en el Mar Caribe se han reportado cantidades masivas de sargazo del género *Sargassum*. Más específicamente, se han observado dos especies de este género *Sargassum fluitans* y *S. natans* (Franks et al., 2011) (De ahora en adelante llamadas en este documento como sargazo). En el pasado estas dos especies se habían reportado para el Caribe, pero en baja abundancia.

El Sargazo pelágico es abundante en el mar de los Sargazos, sin embargo, durante 2011 ocurrió una acumulación a escala oceánica de sargazo que para 2012 se extendió por toda la Región de Recirculación del Atlántico Norte (Johnson et al., 2012). Desde entonces, se ha observado por medio de imágenes satelitales lo que Wang y colaboradores llamaron El Gran Cinturón Atlántico de Sargazos (GASB por sus siglas en inglés). GASB en muchos casos se ha extendido desde África occidental hasta el golfo de México y en junio de 2018, su área había alcanzado casi 3000 km² con una biomasa mayor a 20 millones de toneladas (Wang et al., 2019). La floración de 2011 pudo ser el resultado de la descarga del río Amazonas en años anteriores, pero los aumentos recientes y la variabilidad interanual después de 2011 parecen estar impulsados por el afloramiento en África occidental durante el invierno boreal y por la descarga del río Amazonas durante la primavera y el verano (Wang et al., 2019).

Entre las causas sugeridas por varios investigadores para explicar porque está ocurriendo el aumento en la biomasa de sargazo en el Caribe y el Golfo de México están: 1) Aumento de la carga de nutrientes en la cuenca atlántica a través de las descargas de los ríos, debido a la deforestación y otros cambios en el uso de la tierra río arriba (Wang et al., 2019); 2) Aumento del polvo del Sahara (Johnson et al., 2012); 3) Cambio en los patrones de surgencia frente a la costa noreste de África (Sissini et al., 2017, Wang et al., 2019); 4) Régimen de viento anormal de 2009 a 2010 en el Atlántico centro-oriental (Johns et al., 2020); 5) Aumento de la temperatura del mar y 6) Cambios en la profundidad de la capa mixta relacionados con el suministro de nutrientes (Johns et al., 2020). Si estos cambios en las condiciones ambientales persisten, existe la



posibilidad de que las floraciones recurrentes de sargazo en el Atlántico tropical y el Mar Caribe se conviertan en la nueva norma año tras año (Wang et al., 2019).

Investigaciones del sargazo en Puerto Rico

La gravedad del brote de sargazo varía notablemente en la región del Gran Caribe. Sin embargo, Puerto Rico se encuentra entre las regiones con un nivel de afectación alto (UNEnvironment et al., 2018) y al igual que en muchos lugares del caribe, en los últimos años esta isla también ha experimentado llegadas masivas de sargazo. Es por esto que el Programa Sea Grant (PSG), adscrito al Recinto Universitario de Mayagüez (RUM) en el 2019, llevó a cabo la conferencia Sargazo en el Caribe: Retos, soluciones y oportunidades (Prensa RUM 2019). Entre los expositores se encontraban especialistas de diferentes organizaciones y universidades que hablaron de sus investigaciones. Entre ellos, el doctor Roy A. Armstrong, profesor del Departamento de Ciencias Marinas del RUM, quien divulgó el trabajo que realizó durante el 2018 bajo el título: “Use of Remote Sensing for the Detection and Evolution of Sargassum in Coastal Areas”. En esta investigación usaron imágenes satelitales y trabajo de campo para estudiar el evento de llegadas de sargazo a áreas costeras de la isla para poder caracterizarlo desde el punto de vista óptico. Entre los hallazgos preliminares han encontrado que existe una mayor incidencia de estas algas flotantes durante el mes de septiembre. Asimismo, los autores esperan poder predecir la magnitud durante el resto del año al analizar el impacto de su acumulación en los canales de mangle y su posterior depósito en ellos. En esta jornada, también participaron investigadores como Adolfo González, del Sistema Caribeño de Observación Costera Oceánica (CariCOOS), quien discutió el uso de instrumentos como las boyas para analizar el movimiento que provoca el viento, las olas y las corrientes en el sargazo. (Prensa RUM 2019).

En Puerto Rico, diferentes investigadores han utilizado imágenes satelitales y redes de radar HF para ayudar a rastrear y predecir el movimiento de las grandes masas de sargazo pelágico que se aproxima a la isla. Estos investigadores han concluido que para que el proceso sea lo más preciso posible, se debe capturar al menos una imagen cada 48 a 72 horas sin nubes ni destellos de sol (Prakash et al., 2019). Estas predicciones darán un acercamiento a los manejadores para que puedan tomar decisiones oportunas sobre el efecto de estos grandes



arribazones. Para monitorear la abundancia de sargazo en las aguas alrededor de Puerto Rico se ha integrado a la página web del *Caribbean Coastal and Ocean Observing System* (CariCOOS) un producto derivado de sensores satelitales conocido como el índice de algas flotantes (*Floating Algae Index*) (Figura 1). Este índice fue desarrollado por el Laboratorio de Oceanografía Óptica de la Universidad de South Florida.

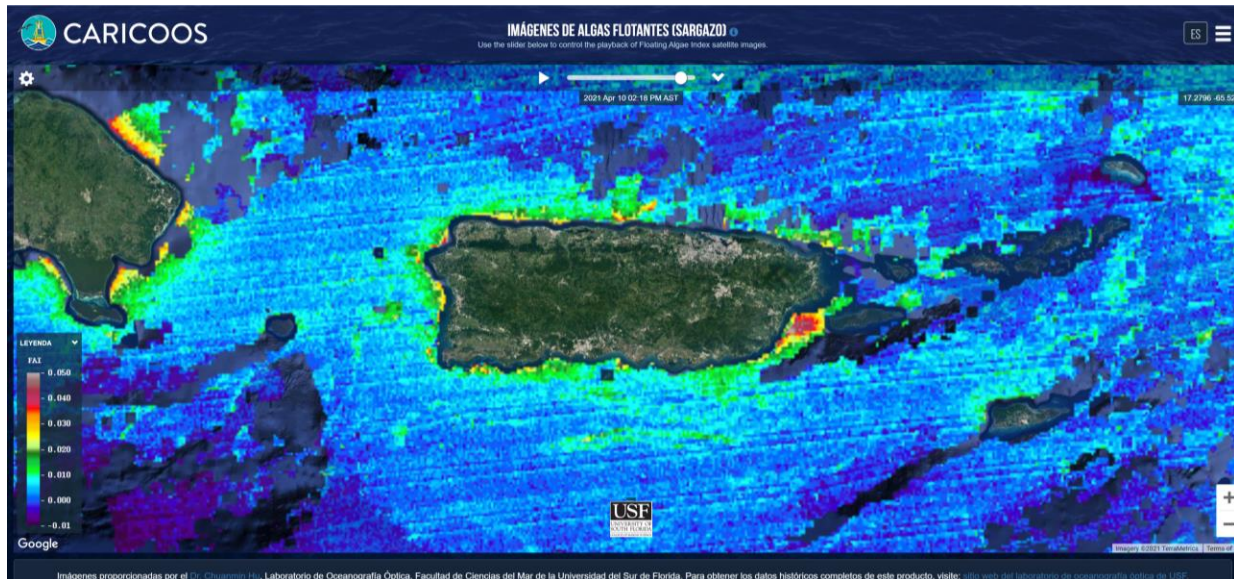


Figura 1. Herramienta de visualización del índice de algas flotantes (*Floating Algae Index*) en el portal web de CariCOOS (https://www.caricoos.org/oceans/observation/modis_aqua/ECARIBE/afai). Las zonas de color rojizo representan áreas de mayor abundancia de sargazo mientras que las tonalidades azules son de valores bajos. Imagen tomada en abril 10, 2021.

También, en Puerto Rico se han realizado investigaciones como la de Hernandez et al., 2020 donde utilizando imágenes satelitales de muy alta resolución evaluaron los cambios en la composición bentónica y la vegetación costera en La Parguera, suroeste de Puerto Rico entre el 2010 y 2020, atribuibles al aumento de la afluencia de sargazo pelágico y sus acumulaciones en cayos, bahías, ensenadas y entornos cercanos a la costa. Estos investigadores notaron una disminución en la cobertura vegetal de las praderas de hierbas marinas y además sugieren que se debe seguir un estudio para evaluar el efecto que tiene las grandes acumulaciones de sargazo en descomposición sobre las raíces de los bosques de Manglar.



Impactos socioeconómicos

Al llegar a las costas de África, el Caribe y el Golfo de México, estas masas a la deriva causan impactos ambientales, económicos y sociales severos (Chávez et al., 2020). Un ejemplo de esto son las acumulaciones de sargazo en descomposición en las playas y en las aguas cercanas a la costa, lo que afecta el turismo ya que la mayoría de las personas que llegan a las costas se sienten atraídos como es el caso del Caribe por sus playas de arena blanca, aguas cristalinas y temperaturas cálidas que en general se presentan en la región. El impacto visual poco atractivo del sargazo en descomposición y el mal olor que produce ha perjudicado a la industria turística, que es el principal impulsor de la economía de muchos lugares en el Caribe (Chávez et al., 2020).

En el Caribe mexicano, específicamente en Cancún y La Riviera Maya, hubo una disminución en las tasas de ocupación en los hoteles después del evento del sargazo de 2018 (2.87% a abril de 2019). En el intento por frenar la disminución del turismo y evitar un deterioro de los ecosistemas costeros, el gobierno mexicano invirtió aproximadamente USD 17 millones de dólares en la remoción de 522,226 toneladas de sargazo en 2018, y USD 2.6 millones de dólares para la remoción de 85,000 toneladas en el año 2019 (Espinosa 2020). La industria hotelera también gastó grandes cantidades en la eliminación del sargazo de sus playas: en 2018, los hoteles entre Cancún y Puerto Morelos gastaron entre USD 128,770 y USD 284,830 solo en salarios para el personal de limpieza de playas y el personal que transporta el sargazo a los sitios de descarte (Chávez et al., 2020). Algunos hoteles han tenido que adquirir equipos de alto costo, incluyendo (a) maquinaria, para remover el sargazo de la playa, con un costo estimado de USD 82,000, (b) barreras, para evitar que el sargazo llegue a la playa, con costos que varían de USD 220 a USD 330 por metro lineal, más instalación (USD 40 – USD 50 por metro) y anclajes (USD 450 en roca y USD 900 en arena por unidad) y (c) botes, para transportar el sargazo recolectado, con un costo de USD 200.000 a USD 1 millón de dólares. Otros gastos incluyen el mantenimiento de las embarcaciones (USD 4500 por mes), equipo y materiales más pequeños para la limpieza de playas, reembolso de las tarifas a los turistas y pagos a los vertederos de sargazo (Chávez et al., 2020). Chavez y colaboradores estiman que, si el turismo continúa disminuyendo en esta



región, habrán tasas de desempleo muy elevadas, lo que podría traer problemas sociales como aumento de la pobreza y la delincuencia.

Potencialmente, las llegadas masivas de sargazo a las costas también pueden afectar la salud humana. La descomposición de grandes cantidades de sargazo produce gases, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el amoníaco (NH_3), que bajo exposición crónica pueden resultar tóxicos provocando en algunos casos irritación de las vías respiratorias superiores, dolor de cabeza y náuseas (Resiere et al., 2019). Los habitantes de las algunas zonas costeras del Caribe Mexicano han informado que el olor que desprende el sargazo en descomposición es a veces perceptible hasta varios cientos de metros tierra adentro (Chávez et al., 2020). Otro efecto del ácido sulfúrico que se desprende de esta descomposición es la corrosión de cables de cobre, equipos electrónicos y electrodomésticos en viviendas cercanas a la costa (Chávez et al., 2020).

Impactos ambientales

Cuando las masas pelágicas de sargazo se encuentran flotando en mar abierto, sirven de hábitat para numerosas especies animales y vegetales y en general, se consideran beneficiosas para la biodiversidad de alta mar (Fine, 1970). Por ejemplo, como lo indicó en el 2010 la organización conservacionista sin fines de lucro *Defenders of Wildlife*, las masas de sargazo pelágico puede ser un hábitat importante para las tortugas marinas recién nacidas que son especialmente vulnerables a los depredadores oceánicos (*Defenders of Wildlife*, 2010). A pesar de las funciones ecológicas del sargazo, en los ecosistemas costeros estas grandes e inusuales masas de sargazo en el Caribe causan alteraciones fisicoquímicas y biológicas notables. Si estas masas permanecieran en el mar, o si solo llegaran pequeñas cantidades a la costa, los problemas ecológicos serían menores, pero, en altas concentraciones, el sargazo puede afectar negativamente a la flora y fauna marina ubicadas cerca de la costa.

En las playas, la aglomeración de estas algas dificulta la anidación de tortugas marinas. Esta acumulación puede crear un ambiente de incubación anóxico y contaminado debido a la descomposición, lo que puede alterar las condiciones térmicas que determinan la producción de más crías machos o hembras ya que en este taxon, el desarrollo sexual del embrión depende de



la temperatura (Louime et al., 2017, Maurer et al., 2015). Sumado a esto, también dificulta el movimiento de los neonatos desde la playa hacia el agua (Louime et al., 2017). Las crías que emergen con éxito de los nidos a lo largo de los tramos costeros afectados por el sargazo enfrentarán más obstrucciones tanto en tierra como en el mar, y su uso de la dirección de las olas para navegar durante la migración inicial costa afuera puede verse comprometido. Estos factores, a su vez, pueden aumentar la mortalidad por agotamiento y ahogamiento (Maurer et al., 2015).

En la zona costera, como resultado de la descomposición de las grandes acumulaciones de sargazo, se generan unos lixiviados que crean lo que se conoce como las mareas marrones de sargazo (*Sargasso Brown Tides*, SBT por sus siglas en inglés) (Figura 2). Las SBT tornan el agua marrón, disminuyendo la luz, los niveles de oxígeno disuelto y el pH, mientras aumentan la temperatura, la materia orgánica y las cargas de nutrientes (Van Tussenbroek et al., 2017, Chávez et al., 2020). Las SBT pueden llegar a tener una extensión mayor a 100 m desde la costa (Van Tussenbroek et al., 2017) lo que puede alterar la calidad de agua en varios ecosistemas. Entre los ecosistemas más vulnerables afectados por las SBT se encuentran los manglares, los pastos marinos, fondos lodosos y/o arenosos y los arrecifes de coral (incluidas las colonias de coral) y los pastos marinos (Rodríguez-Martínez et al., 2019).

Una menor cantidad de luz penetrando en la columna de agua provoca reducción en la fotosíntesis en las praderas de hierbas marinas, esto disminuye los niveles de oxígeno, y la acumulación de materia orgánica provoca hipoxia o anoxia (Van Tussenbroek et al., 2017). La sinergia de estos factores mencionados provocó cambios en la comunidad de hierbas marinas, donde se ha observado un aumento de las algas epifitas y calcáreas y una disminución en la abundancia de especies de hierbas marinas, especialmente en áreas previamente dominadas por *Thalassia testudinum* (Van Tussenbroek et al., 2017). La pérdida de pastos marinos en la zona cercana a la costa repercute en la protección costera y el mantenimiento de la claridad del agua, ya que los pastos marinos atenúan el oleaje, lo que permite la deposición de partículas finas, reduciendo la turbidez. (Chávez et al., 2020). En México, la disminución de oxígeno, durante las llegadas masivas de Sargazo en el 2015 y 2018, provocó la mortalidad de hierbas marinas y su



fauna asociada como peces, crustáceos, equinodermos, moluscos y poliquetos asociados a los pastos marinos (Van Tussenbroek et al., 2017, Rodríguez-Martínez et al., 2019).

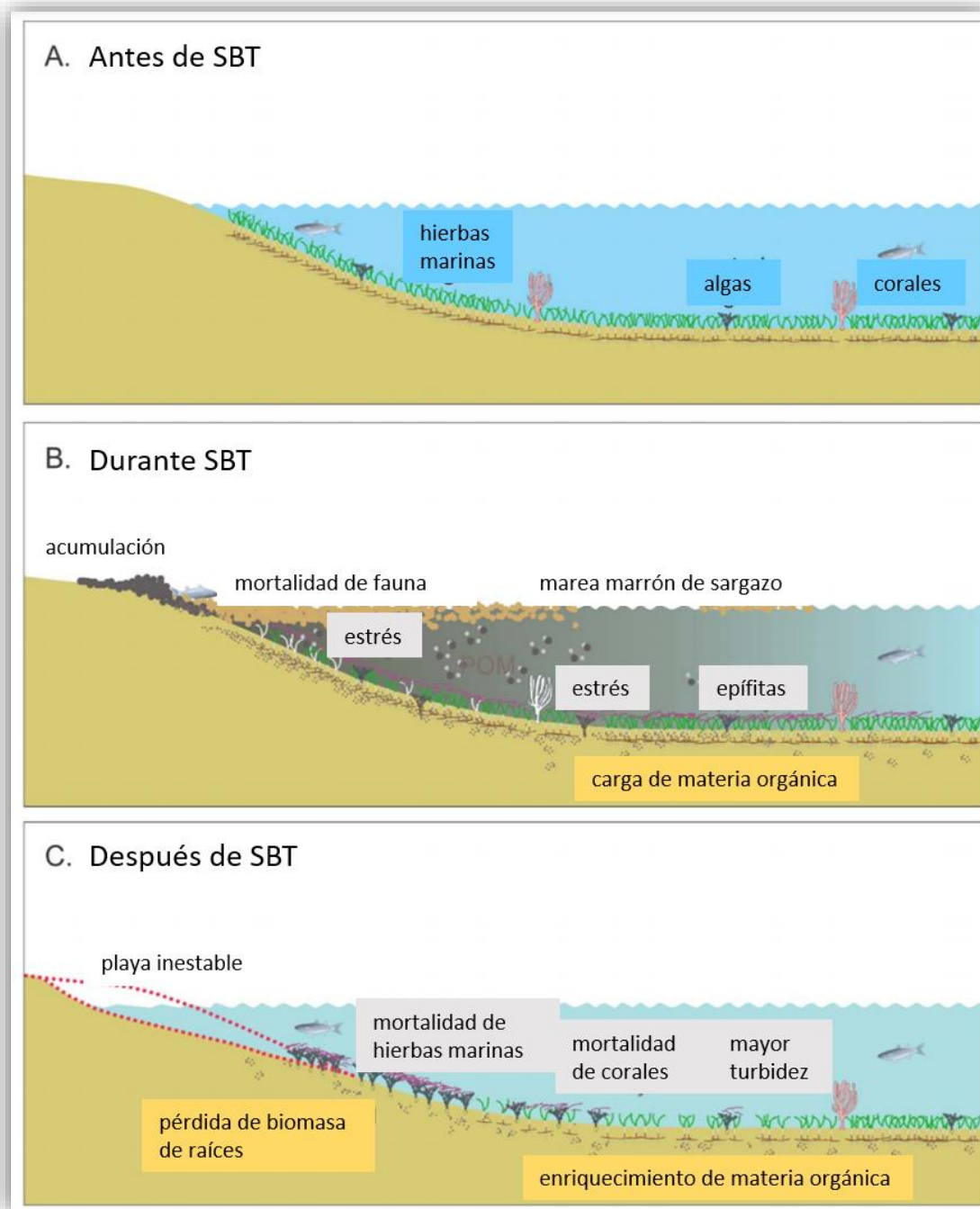


Figura 2. Diagrama de la formación e impactos de las mareas marrones de sargazo en ecosistemas costeros anidados. Tomado de Van Tussenbroek et al., 2017.



Para evaluar los efectos del aumento de afluencia de sargazo pelágico en Puerto Rico, por medio de imágenes satelitales de alta resolución, se realizó un análisis que evaluó los cambios en la vegetación bentónica de La Parguera, en el suroeste de la isla, atribuibles a los grandes arribazones y sus acumulaciones en cayos, bahías, ensenadas y entornos cercanos a la costa. Se aplicó un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) y un esquema de clasificación a las imágenes para evaluar los cambios en la vegetación costera. Los resultados mostraron una tendencia negativa en el NDVI de 2010 a 2020. Estos cambios también se observaron en imágenes en color real de 2010 a 2020. Los cambios en los valores negativos del NDVI de 2018 a 2020 fueron más altos, especialmente para el sitio de Isla Cueva (97%) y fueron consistentes con las observaciones de campo y los estudios con drones realizados desde 2018 en el área. La principal disminución de 2018 y 2020 ocurrió principalmente en vegetación acuática sumergida como los pastos marinos (Hernandez et al., 2020).

Impactos a los arrecifes de coral

La acumulación de grandes masas de sargazo pelágico desde 2011 ha provocado cambios en la dinámica natural de los ecosistemas costeros del Caribe (Cabanillas-Terán et al., 2019). Sin embargo, al ser un fenómeno relativamente reciente, es poco lo que se conoce sobre los impactos de los grandes arribazones de sargazo en los arrecifes de coral. Se conoce que las grandes acumulaciones de sargazo en la superficie del agua evitan la penetración de la luz. Por tanto, los pastos marinos y los corales se ven afectados por la falta de luz necesaria para la fotosíntesis (Chávez et al., 2020).

En arrecifes de Quintana Roo México, los efectos de los lixiviados generados por la descomposición de sargazo llevaron a condiciones hipóxicas y redujeron la diversidad taxonómica de las fuentes alimenticias de macroalgas disponibles para el erizo de espinas largas *Diadema antillarum* alterando la herbivoría natural de este erizo (Cabanillas-Terán et al., 2019). El Análisis de Isótopos Estables realizado por Cabanillas-Teran y colaboradores, indicó que las floraciones de sargazo causaron cambios en las características tróficas de *D. antillarum* con un impacto negativo por las condiciones hipóxicas, lo que podrían tener algún tipo de consecuencia en los arrecifes ya que estos erizos son de vital importancia para la herbívora de este ecosistema.



Los efectos de las SBT se pueden extender mar adentro llegando en muchos casos a la laguna arrecifal, afectando los arrecifes (Chávez et al., 2020). El aporte de nutrientes y material orgánico debido a los lixiviados de la descomposición del sargazo disminuye la calidad del agua aumentando la turbidez, incluso mucho después de que el sargazo haya desaparecido del sistema (Van Tussenbroek et al., 2017) . Es probable que las consecuencias negativas de las SBT interactúen con otras amenazas en las comunidades coralinas de las diferentes regiones del Caribe (Chávez et al., 2020). Por ejemplo, desde 2018, las comunidades de corales formadores de arrecifes en todo el Caribe mexicano se han visto afectadas por una enfermedad llamada la enfermedad de pérdida de tejido de corales duros (SCTLD por sus siglas en inglés) (Alvarez-Filip et al., 2019). Esta enfermedad ha afectado a muchas especies de coral, con graves pérdidas de población (> 50%) para especies de las familias Meandrinidae y Faviidae (Alvarez-Filip et al., 2019). Al parecer, este brote parece haberse extendido más rápido a lo largo del Caribe mexicano que en Florida u otras regiones afectadas. Una de las posibles explicaciones es por el deterioro en la calidad del agua debido a las SBT, estas mareas marrones parecen estar contribuyendo al empeoramiento de las condiciones ambientales que han favorecido el avance de esta enfermedad (Alvarez-Filip et al., 2019). Se necesita más investigaciones para comprender completamente la relación entre la calidad del agua que cambia rápidamente en el Caribe mexicano y la susceptibilidad de los corales a las enfermedades; sin embargo, el enriquecimiento crónico de nutrientes ya se ha relacionado con las enfermedades de los corales y el blanqueamiento en condiciones experimentales (Vega Thurber et al., 2014).

Los lixiviados que crean las SBT, pueden contener metales pesados y altas concentraciones de amonio y fósforo (Rodríguez-Martínez et al., 2019). En el Caribe mexicano, se ha observado que los lixiviados de sargazo se han dispersado desde la costa hacia la cresta del arrecife. Durante el 2015, algunas colonias de coral de la laguna arrecifal de Puerto Morelos en México, se estresaron y presentaron mortalidad parcial o total debido a la presencia y descomposición de sargazo (Van Tussenbroek et al., 2017). Algunas especies de coral como *Dichocoenia stokesii*, *Porites astreoides* y *Pseudodiploria clivosa* al parecer se vieron más afectadas que otras como *Siderastrea siderea*, *Pseudodiploria strigosa* y *Montastrea cavernosa*



(Van Tussenbroek et al., 2017). Existen evidencias experimentales sobre como la exposición crónica a nutrientes conduce a aumentos tanto en la prevalencia como en la virulencia de las enfermedades y al blanqueamiento de los corales en los corales escleractinios (Vega Thurber et al., 2014), estos autores continuamente expusieron áreas de un arrecife de coral a niveles elevados de nitrógeno y fósforo. Al final del enriquecimiento, observaron que corales como *S. siderea* dentro de las parcelas de enriquecimiento tuvieron un aumento doble tanto en la prevalencia como en la gravedad de enfermedades en comparación con los corales en las parcelas de control no enriquecidas. Además, la carga elevada de nutrientes aumentó el blanqueamiento de los corales del género *Agaricia*. Los corales expuestos a nutrientes sufrieron un aumento de la frecuencia de blanqueamiento de 3.5 en comparación con los corales de control. Los datos obtenidos en esta investigación sugieren que efectivamente el empeoramiento en la calidad del agua por aumento en los nutrientes hace que la prevalencia de enfermedades pueda ser más severa (Vega Thurber et al., 2014).

Además de esto, en el caribe mexicano, las llegadas más altas de sargazo se produjeron en la temporada del desove de varias especies de corales como *Acropora palmata* (Antonio-Martínez et al., 2020). Antonio-Martínez y colaboradores en el 2020, llevaron a cabo experimentos para evaluar los efectos de los lixiviados de Sargazo sobre el comportamiento del nadado en las larvas de *A. palmata*. Estos investigadores observaron que, al exponer las larvas a los lixiviados, estas redujeron la velocidad de nadado, el porcentaje de larvas que nadaron en un patrón en espiral aumentó y la mayoría de los desplazamientos ocurrieron en frecuencias más bajas que las larvas que no estaban expuestas a los lixiviados. Además, el comportamiento en espiral fue mayor en presencia de lixiviados, lo que los autores sugieren como un posible comportamiento efecto de la contaminación. Asimismo, estos investigadores, señalaron que después de 30 minutos, la mayoría de las larvas expuestas a lixiviados estaban inmóviles. Hacen faltan más investigaciones para conocer el efecto de estas mareas marrones en el comportamiento larval de las diferentes especies de corales en el Caribe, sin embargo, con este experimento realizado en México se preden algunas alarmas sobre uno de los posibles efectos de los grandes arribazones de Sargazo en la reproducción sexual de corales duros, ya que el éxito



reproductivo de los corales puede verse comprometido en zonas afectadas por las llegadas de sargazo si se convierten en eventos frecuentes.

En Puerto Rico hasta la fecha no se han realizado estudios referentes al impacto que tienen los grandes arribazones de sargazo sobre los arrecifes de coral, aunque se han realizado estudios en ecosistemas asociados. Algunas investigaciones en curso llevadas a cabo en el Departamento de Ciencias Marinas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez están investigando los impactos de las SBT en la calidad de agua, particularmente los efectos en la acidificación y enriquecimiento con carbón orgánico disuelto.

Estrategias de manejo y mitigación en el Caribe

Debido a las grandes acumulaciones de sargazo en las costas, los diferentes países caribeños han tomado algunas medidas para la eliminación del sargazo. Por ejemplo, hasta ahora, algunas prácticas recomendadas por la secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México indican que las masas de sargazo deben retirarse de las playas preferiblemente antes de 72 horas desde su llegada. Si el sargazo llega en cantidades moderadas, la remoción debe hacerse manualmente, y solo se puede usar maquinaria ligera si esto es imposible y sin afectar la playa misma, ni la fauna y flora de la playa o dunas y no se podrá utilizar maquinaria pesada en zonas de anidación de tortugas marinas. La arena recolectada debe tamizarse y devolverse al sistema litoral (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, 2019). Sin embargo, algunos investigadores aseguran que la implementación de estas directrices sigue siendo deficiente en algunos lugares de México (Chávez et al., 2020). Es por esto, que los mismos autores recomiendan otras opciones para la recolección de sargazo, como es hacer la recogida en alta mar ya que Chaves y colaboradores (2020), aseguran que una vez las masas de sargazo han llegado a la playa ya el daño ha ocurrido, incluso si la recolección se hace durante las primeras 24 horas después de la llegada. Estos autores recomiendan usar barreras que eviten que el sargazo llegue a la playa, poner estas barreras en varios sitios situados entre 40 a 50 m de la costa (Chávez et al., 2020).



Más específicamente, durante el 2015 el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) de Puerto Rico, creó el protocolo para el manejo de Sargazo (DRNA, 2015). En este documento se detallan una serie de pasos a seguir en el momento de atender la emergencia de arribazones de sargazo. Por ejemplo, se inicia con la identificación temprana de zonas o playas propensas al impacto de acumulación extrema de sargazo, luego se determina que ecosistemas sensitivos o áreas de anidación de tortugas marinas hay aledañas al litoral, se pasa a notificar la acumulación extrema de sargazo en costas o playas por medio de líneas de atención del DRNA, una vez se haya reportado el lugar, el personal técnico con apoyo del Cuerpo de Vigilantes, procederá a evaluar la zona impactada (condiciones de la bahía, ensenada, estuario, área de arrecifes de coral, yerbas marinas o playa), una vez se ha avaluado la zona se procederá a realizar un plan de trabajo para evaluar los mecanismos por los cuales se removerá el material (maquinaria pesada o remoción manual) dependiendo del caso (DRNA, 2015).

En algunas áreas de Puerto Rico como en el suroeste de la isla, se han llevado a cabo recolecciones de sargazo en el área conocida como Playita Rosada en el municipio de Lajas (Figura 3). Estos recogidos se han realizado por parte de la alcaldía del municipio en conjunto con el DRNA. El sargazo recolectado se ha llevado al vertedero del municipio de Lajas donde ha sido utilizado para tapar el vertedero (Primera Hora 2019).

Además de recoger el sargazo, existen otras posibles medidas de manejo para mitigar y buscar salidas prácticas a este problema colosal. Algunos países han implementado estrategias para el uso del sargazo como por ejemplo el sargazo limpio y seco puede ser utilizado como fertilizante. También, se extrae de estas algas alginato de sodio para productos alimenticios, textiles y farmacéuticos. El sargazo se ha utilizado para hacer bloques de construcción que contienen 40% del alga. Otros usos que se le han dado han sido para producir papel elaborado manualmente, productos para el cuidado de la belleza, bioplásticos y biogás (Desrochers et al., 2020, Chávez et al., 2020, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, 2019).



Figura 3. Remoción manual de sargazo acumulado en área recreativa Playita Rosada de la Reserva Natural La Parguera, Lajas Puerto Rico. Foto tomada del periódico Primera Hora. Julio, 2019. (<https://www.primerahora.com/noticias/puerto-rico/notas/de-vuelta-el-sarg>)

Pese a lo anterior y aunque el sargazo tiene un potencial considerable como fuente de productos bioquímicos, alimentos, fertilizantes y combustible, la composición variable junto con la posible presencia de contaminantes marinos pueden hacer que los arribazones de sargazo no sean adecuados para alimentos, productos farmacéuticos y fertilizantes. El suministro



discontinuo y poco confiable de sargazo también presenta desafíos considerables (Milledge & Harvey, 2016).

Necesidades de investigación y monitoreo en base a los posibles impactos para los arrecifes

Como queda evidenciado en este documento, es muy poca la literatura que se encuentra para el Caribe y Puerto Rico, donde se evidencie el efecto de la llegada de estas grandes cantidades de sargazo y la posterior formación de las llamadas mareas marrones en los arrecifes de coral. Para entender el rol del sargazo como un estresor adicional a los arrecifes de coral de Puerto Rico se recomienda a los investigadores de universidades, industria privada, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, entre otros, realizar investigaciones referentes al efecto del sargazo sobre los arrecifes de coral. También es necesario fomentar las investigaciones que relacionen el efecto en el deterioro de las praderas de hierbas marinas y manglares por estas llegadas masivas de sargazo. Esto parece algo obvio, sin embargo, se necesitan datos que muestren el efecto que tiene el deterioro de estos ecosistemas causado por estas grandes cantidades de sargazo, ya que están estrechamente relacionados con los arrecifes.

A continuación, se provee una lista de temas de investigación los cuales se pueden desarrollar en hipótesis de trabajo que permitan evaluar los impactos del sargazo en zonas arrecifales:

1. Monitoreo de acumulación de sargazo en las costas de Puerto Rico con un énfasis en determinar zonas de acumulación cercanas a sistemas de arrecifes de coral y ecosistemas asociados. Un producto de este esfuerzo de monitoreo debe ser la creación de un mapa con los puntos de acumulación de sargazo y la presencia de ecosistemas para determinar áreas de vulnerabilidad. Para el monitoreo de la acumulación de sargazo a escalas espaciales de kilómetros es recomendable emplear tecnologías de percepción remota como drones. Este tema de



investigación ya está incluido en el Protocolo para el Manejo de Acumulaciones Extremas de Sargazo en las Costas de Puerto Rico.

2. Estudios de cambios en parámetros de calidad de agua (ej, oxígeno disuelto, nutrientes, entre otros) antes, durante y después de eventos de arribazones de sargazo en sitios determinados. Para la elección de sitios se debe considerar los hallazgos de esfuerzos de monitoreo de la acumulación de sargazo y determinación de sitios propensos a recibir los impactos de las SBT.
3. Monitoreo de la sobrevivencia e incidencia de enfermedades en colonias de coral en hábitats cercanos a la influencia de las SBT.
4. Monitoreo de cambios en la estructura y composición béntica asociadas a pastos marinos, raíces de manglar y arrecifes coralinos.
5. Investigar los posibles efectos de los arribazones de sargazo en los eventos de desove de corales ya que ambos eventos pueden coincidir.

Recomendaciones de manejo

El manejo del sargazo en Puerto Rico representa grandes retos ecológicos y socioeconómicos que se deben afrontar. Según la literatura, para evitar los impactos ecológicos y económicos del varamiento masivo de sargazo, la mejor opción es eliminar las masas de estas algas pelágicas mientras aún están en el mar, evitando que llegue a acumularse en la zona costera (Monroy-Velázquez et al., 2019, Chávez et al., 2020). Sin embargo, en el mar, estas grandes manchas pelágicas de Sargazo forman un ecosistema con una fauna asociada, su remoción podría impactar esta fauna (Monroy-Velázquez et al., 2019). Es por esto que se sugiere que las reglamentaciones deben considerar preferiblemente remover el sargazo del mar antes que se acumule en las playas, respetando la vida silvestre. En el caso de Puerto Rico, el DRNA en su Protocolo para el Manejo de Acumulaciones Extremas de Sargazo no contempla el bloqueo y recogido del sargazo en el mar, sino que se basa en un plan de trabajo que se activa una vez las playas o zonas costeras son afectadas. Es recomendable evaluar los costos y beneficios de la



remoción de sargazo en las playas versus medidas de remoción en el mar dándole prioridad a lugares de alto valor ecológico y turístico, así como por la recurrencia y predictibilidad de la acumulación del sargazo. Para este tipo de estrategia se debe involucrar aquellos sectores más afectados y con capacidad adquisitiva (Ej. industria hotelera, condóminos, marinas, entre otros) para costear los gastos asociados al manejo del sargazo. De igual forma, se deben involucrar comunidades costeras que pueden afectarse por medidas de bloqueo de sargazo, ya que las barreras que se instalan, si no hay un recogido constante del material y mantenimiento de las mismas, pueden ocasionar una acumulación mayor en zonas aledañas.

Bibliografía

- Alvarez-Filip, L., Estrada-Saldívar, N., Pérez-Cervantes, E., Molina-Hernández, A., & González-Barrios, F. J. (2019). A rapid spread of the stony coral tissue loss disease outbreak in the Mexican Caribbean. *PeerJ*, 2019(11). <https://doi.org/10.7717/peerj.8069>
- Antonio-Martínez, F., Henaut, Y., Vega-Zepeda, A., Cerón-Flores, A. I., Raigoza-Figueras, R., Cetz-Navarro, N. P., & Espinoza-Avalos, J. (2020). Leachate effects of pelagic *Sargassum* spp. on larval swimming behavior of the coral *Acropora palmata*. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60864-z>
- Cabanillas-Terán, N., Hernández-Arana, H. A., Ruiz-Zárata, M.-Á., Vega-Zepeda, A., & Sanchez-Gonzalez, A. (2019). *Sargassum* blooms in the Caribbean alter the trophic structure of the sea urchin *Diadema antillarum*. *PeerJ*, 7, e7589. <https://doi.org/10.7717/peerj.7589>
- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-Sánchez, M., Masia, L., & Silva, R. (2020). Massive influx of pelagic *sargassum* spp. On the coasts of the mexican caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities. *Water (Switzerland)*, 12(10), 1–24. <https://doi.org/10.3390/w12102908>
- Defenders of Wildlife. (2010). Wildlife and Offshore drilling The 2010 Gulf of Mexico Disaster : *Sargassum*. In Horizon (pp. 1–4). http://www.defenders.org/sites/default/files/publications/wildlife_and_offshore_drilling_sargassum.pdf
- Desrochers, A., Cox, S., Oxenford, H., & Van Tussenbroek, B. (2020). *Sargassum* Uses Guide: A resource for Caribbean researchers, entrepreneurs and policy makers Lead. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Produced*, 97, 100.
- DRNA. (2015). *Protocolo para el manejo de acumulaciones extremas de sargazo en las costas de Puerto Rico*.



- Espinosa, L.A.; Ng, J.J.L. El Riesgo del Sargazo para la Economía y Turismo de Quintana Roo y México; BBVA Research: Mexico City, Mexico, 2020; p. 35.
- Fine, M. (1970). Faunal variation on pelagic Sargassum. *Marine Biology*, 7, 112–122.
- Franks, J. S., Johnson, D. R., Ko, D. S., Rubio, G. S., Hendon, J. R., & Lay, M. (2011). Unprecedented Influx of Pelagic Sargassum along Caribbean Island Coastlines during Summer 2011 Afluencia sin Precedentes del Sargassum Pelágico a lo Largo de la Costa en Islas Caribeñas durante el Verano del 2011 Afflux Record de Sargasses Pélagiques le Lo. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, April, 6–8.
- Hernandez, W. J., Morell, J. M., & Armstrong, R. A. (2020). High-resolution satellite imagery to assess Sargassum inundation impacts to coastal areas. *BioRxiv*, August. <https://doi.org/10.1101/2020.08.10.244004>
- Johns, E. M., Lumpkin, R., Putman, N. F., Smith, R. H., Muller-Karger, F. E., T. Rueda-Roa, D., Hu, C., Wang, M., Brooks, M. T., Gramer, L. J., & Werner, F. E. (2020). The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, 182(September 2019), 102269. <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2020.102269>
- Johnson, D., Ko, D., & Franks, J. (2012). The Sargassum Invasion of the Eastern Caribbean and Dynamics of the Equatorial North Atlantic Invasión de Sargazo en el Caribe Oriental y la Dinámica en la. *Usm.Edu*, April 2018, 2012–2013. <http://www.usm.edu/gcrl/sargassum/docs/Johnson.et.al.Sargassum.event.in.Caribbean.2011.65th.GCFI.Abstract.pdf>
- Louime, C., Fortune, J., & Gervais, G. (2017). *Sargassum* Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern. *American Journal of Environmental Sciences*, 13(1), 58–64. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2017.58.64>
- Maurer, A. S., De Neef, E., & Stapleton, S. (2015). Sargassum accumulation may spell trouble for nesting sea turtles. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(7), 394–395. <https://doi.org/10.1890/1540-9295-13.7.394>
- Milledge, J. J., & Harvey, P. J. (2016). Golden Tides: Problem or golden opportunity? The valorisation of Sargassum from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 4(3). <https://doi.org/10.3390/jmse4030060>
- Monroy-Velázquez, L. V., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Aguiar, T., Solís-Weiss, V., & Briones-Fourzán, P. (2019). Motile macrofauna associated with pelagic Sargassum in a Mexican reef lagoon. *Journal of Environmental Management*, 252(March). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109650>
- Prakash, D., Dicopolous, J., Roarty, H., Morel, J., Canals, M., & Evans, C. (2019). Development of Sargassum Seaweed Tracking Tools. *OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston*, OCEAN 2018, October. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2018.8604742>



- Primera Hora. Lester Jiménez. 26 Julio 2019. <https://www.primerahora.com/noticias/puerto-rico/notas/de-vuelta-el-sargazo-en-lajas/>
- Resiere, D., Mehdaoui, H., Névière, R., & Mégarbane, B. (2019). Sargassum invasion in the Caribbean: the role of medical and scientific cooperation. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 43(April), 1. <https://doi.org/10.26633/rpsp.2019.52>
- Rodríguez-Martínez, R. E., Medina-Valmaseda, A. E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L. V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., Vásquez-Yeomans, L., Francisco, V., & García-Rivas, M. C. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. *Marine Pollution Bulletin*, 146(June), 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico. (2019). *LINEAMIENTOS TÉCNICOS Y DE GESTIÓN PARA LA ATENCIÓN DE LA CONTINGENCIA OCASIONADA POR SARGAZO EN EL CARIBE MEXICANO Y EL GOLFO DE MÉXICO*. (Issue 223, pp. 1–35).
- Sissini, M. N., De Barros Barreto, M. B. B., Szechy, M. T. M., De Lucena, M. B., Oliveira, M. C., Gower, J., Liu, G., De Oliveira Bastos, E., Milstein, D., Gusmão, F., Martinelli-Filho, J. E., Alves-Lima, C., Colepicolo, P., Ameka, G., De Graftjohnson, K., Gouvea, L., Torrano-Silva, B., Nauer, F., Marcos De Castronunes, J., ... Horta, P. A. (2017). The floating Sargassum (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean - Likely scenarios. *Phycologia*, 56(3), 321–328. <https://doi.org/10.2216/16-92.1>
- UNEnvironment, Sub-Programme, S., & Secretariat, C. (2018). Sargassum White Paper - Sargassum Outbreak in the Caribbean: Challenges, Opportunities and Regional Situation. *Eighth Meeting of the Scientific and Technical Advisory Committee (STAC) to the Protocol Concerning Specially Protected Areas and Wildlife (SPA) in the Wider Caribbean Region, December*.
- Van Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., & Collado-Vides, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>
- Vega Thurber, R. L., Burkepille, D. E., Fuchs, C., Shantz, A. A., Mcminds, R., & Zaneveld, J. R. (2014). Chronic nutrient enrichment increases prevalence and severity of coral disease and bleaching. *Global Change Biology*, 20(2), 544–554. <https://doi.org/10.1111/gcb.12450>
- Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. P. (2019). The great Atlantic Sargassum belt. *Science*, 364(6448), 83–87. <https://doi.org/10.1126/science.aaw7912>