

# Pérdida de sedimento asociada a la retirada de depósitos de *Sargassum* spp. en las playas del Caribe

Francesc Xavier Roig-Munar<sup>1</sup> , Oliver Olivo Batista<sup>2</sup>, Pablo del Toro Piñero<sup>5</sup>, Antonio Rodríguez-Perea<sup>4</sup>, Bernadí Gelabert Ferrer<sup>5</sup>, & Carla García-Lozano<sup>6</sup> 

1, 6. Investigador independiente, consultor ambiental, C/ Carrixaret 18- apt. 6, es Migjorn Gran, Menorca, 07749, illes Balears.

2. Dpto. de Planificación y Proyectos del Ministerio de Turismo de República Dominicana. Santo Domingo.

3. Grupo Piñero Plaza Mediterráneo, 5, 07014 Palma de Mallorca, illes Balears.

4. Dpto. de Geografía, Universitat de les Illes Balears, carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca, illes Balears.

5. Dpto. de Biología. Universitat de les Illes Balears, carretera de Valldemossa, km 7,5, Palma de Mallorca, illes Balears.

6. Laboratorio de análisis y gestión del Paisaje, Universitat de Girona, plaça Ferrater Mora, 17003 Girona.

La retirada de restos vegetales de *Sargassum* spp. depositados sobre la playa emergida constituyen una parte de la limpieza de playas en el Caribe. Estas gestiones realizadas a lo largo de las últimas décadas han dado lugar a la pérdida de superficies y volúmenes de playa y dunas. El estudio analiza los volúmenes de sedimento retirados mediante la limpieza de *Sargassum* spp. en 12 playas de México y República Dominicana, cuantificando el volumen total en 18.987,3 m<sup>3</sup>, con un 61,23% de sedimento intercalado, equivalente a 9.872,36 T de arena. Este tipo de gestión supone un impacto geomorfológico continuo con una importante pérdida de sedimento anual que afecta a la estabilidad del balance sedimentario del sistema playa.

Palabras clave: Caribe, *Sargassum* spp., limpieza de playas, erosión.

## Loss of sediment associated with the removal of deposits of *Sargassum* spp. on the beaches of the Caribbean

Part of the cleaning of beaches in the Caribbean islands involves the removal of *Sargassum* spp. that remains deposited on the emerged beach and dunes. The study analyses the volumes of sediment removed with the *Sargassum* spp. at 12 beaches in México and the Dominican Republic, quantifying the volume of material removed at 18,987.3 m<sup>3</sup>, of which an estimated 61.23% (or 9,872.36 T) was sand. This kind of management involves a continuous geomorphological impact with an important loss of sediment that affects the stability of the sedimentary balance of the beach system.

Keywords: Caribbean, *Sargassum* spp., beach cleaning, erosion.

El turismo de sol y playa es la modalidad que mayores flujos genera a escala internacional y supone una importante aportación al producto interior bruto (PIB) en países denominados turísticos. En el Caribe, México y República Dominicana son unos de los principales destinos turísticos de este tipo con una aportación al PIB de 8,7 y 8,4 % respectivamente, y modelos turísticos basados en el producto turístico litoral.

Para mantener una playa a largo plazo, el balance debe ser positivo, o al menos equilibrado, ya que los balances negativos en última instancia causan su erosión (Komar, 1999). La presión derivada de la industria turística ha hecho que muchos ambientes

sedimentarios litorales se hayan visto gravemente afectados a lo largo de la costa. Los ambientes litorales de México y República Dominicana (Fig. 1) están sometidos desde hace décadas a una problemática geoambiental asociada a su uso y explotación (Peynador & Méndez-Sánchez, 2010; Roig-Munar et al., 2018; Guimaraes et al., 2021), pero en la última década presentan la llegada y varado masivo de sargazo, la gestión de su retirada generando impactos geoambientales con pérdida de superficie y volumen de playa. Una de las preocupaciones fundamentales nace inicialmente desde el sector turístico en la región del Caribe por la afectación que implican las grandes masas de sargazo

en las playas. La preocupación obedece al efecto negativo de este fenómeno en la economía (Cepal, 2015), por la magnitud de los volúmenes de sargazo, convirtiéndose en un problema de salud, bienestar social y desempleo.

A nivel geomorfológico el perfil teórico de los sistemas playa-duna del Caribe presenta diferentes puntos de sensibilidad, que a lo largo de los años se han visto afectados por la presión, su mala planificación y gestión (Roig-Munar et al., 2021). El grado de sensibilidad morfodinámica presenta diferentes sectores de interrelación, y sobre ellos se dan unas planificaciones y gestiones que afectan la estabilidad del conjunto playa-duna. Estos puntos de sensibilidad son frágiles en su zona emergida, playa y morfologías dunares, y en su zona sumergida, praderas marinas y edificios arrecifales (Martínez et al., 2006; Roig-Munar et al., 2021), y su afectación implica al conjunto playa-duna (Brown & McLachan, 1990; Hesp, 2002). En términos generales, los puntos de mayor repercusión negativa son la pérdida sedimentaria y la afectación a sus medios productores, praderas de fanerógamas y corales, responsables de la mayor parte de la producción carbonatada. Por ende, la vulnerabilidad de los sistemas playa-duna ante su mala praxis de uso, gestión y planificación, sumado al cambio climático, los convierte en sistemas especialmente vulnerables, agravado por el depósito excesivo de Sargazo en el SE de México, Cuba, Puerto Rico, las Antillas menores, República Dominicana, islas Turcas y Caicos y Florida, con efectos adversos en

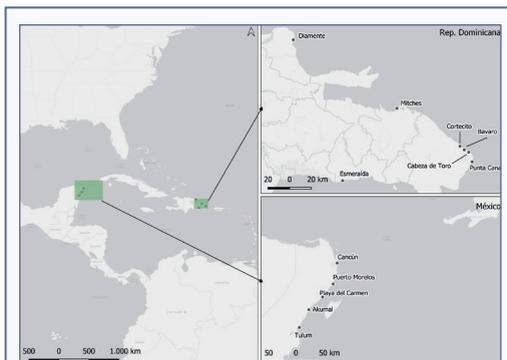
todos los sentidos; ambientales, ecológicos, sociales y económicos.

Las playas a las que llega el sargazo en cantidades masivas se cuentan por cientos en más de una veintena de países, aunque la atención se ha centrado en las playas turísticas, tiñendo de marrón las aguas caribeñas cercanas a la costa, y generando las llamadas mareas marrones (van Tussenbroek et al., 2017), con graves consecuencias ecológicas en las áreas afectadas (Maurer et al., 2015). El coste ambiental de la retirada de sargazo contribuye a una mayor erosión de las playas (Rodríguez-Martínez et al., 2016), y pueden potencialmente contaminar los acuíferos tras su acumulación en acopios depositados tierra adentro (Rodríguez-Martínez et al., 2020).

### *Sargassum* spp.

El mar de los Sargazos es un ecosistema pelágico sostenido por dos especies de macroalgas holopelágicas, *Sargassum natans* (Linneo) y *S. fluitans* (Børgensen), cada una con distintas morfologías. El sargazo pertenece al grupo de algas café o pardas (Phaeophyta) que habitan en los mares de todo el mundo. El subgrupo de sargazo pelágico, que flota de manera libre en el océano, se compone de dos especies, siendo *S. natans* el más abundante en las aguas del Atlántico. Estas especies, de color café pálido-amarillento, presentan un diámetro de 20 a 80 cm, y se configuran a partir de un tallo ramificado de follaje abundante con filoides acerrados y numerosos nematocistos. Presenta pequeñas vesículas de menos de 1 cm de diámetro que funcionan como flotadores, y que están rellenas de gas, compuesto de oxígeno y pequeñas cantidades de nitrógeno. La reproducción de las dos especies de sargazo es por fragmentación vegetativa, y, debido a que sus requerimientos de nitrógeno y fósforo son mínimos, encuentra oportunidades de crecimiento en aguas ligeramente enriquecidas, como zonas frontales de la costa o plumas de ríos.

Su crecimiento óptimo se da a temperaturas de entre 24° y 30° C, con salinidades de 36 y hasta 42 partes por mil, y bajo condiciones óptimas de luz y temperatura. El sargazo puede duplicar su masa en 10 días, especialmente *S. fluitans* (Hanisak & Samuel, 1987). Se configura en conglomerados de amplia gama de formas y tamaños, y su transporte obedece a las corrientes, al viento superficial y al sistema de adhesión con el que cuentan sus hojas (Casazza & Ross, 2008; Marmorino



**FIGURA 1.** Localización de los países caribeños de México y República Dominicana.

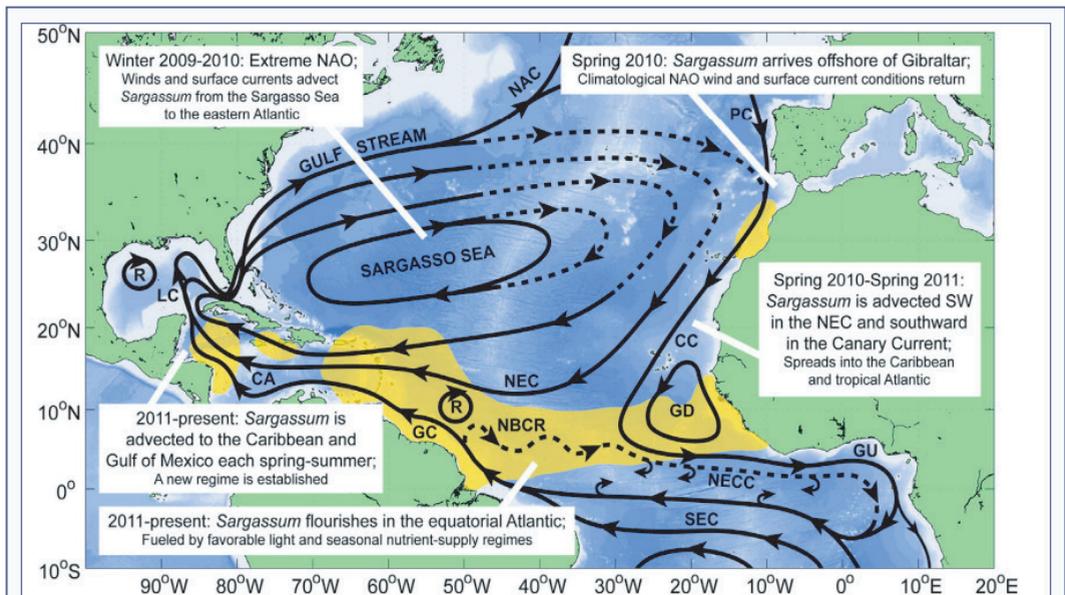
Location of the Caribbean countries of Mexico and the Dominican Republic.

et al., 2011). Se puede ver flotando en mar abierto en manchas desde 15 cm hasta varias decenas de kilómetros. El sargazo circula a lo largo de la zona semi-templada y tropical del Atlántico, incluyendo el mar Caribe y el golfo de México y en un sector del mar de los Sargazos (Fig. 2). El flujo del sargazo en el océano presenta patrones estacionales y su recurrencia es ampliamente variable interanualmente en su cobertura y alcance (Wang & Hu, 2016). Según Oyesiku & Egunyomi (2014) y Amaral-Zettler et al. (2017), las formas morfológicas de *S. natans*, basados en diferencias de sus mitocondrias y genomas, son genéticamente distintas y están compuestas por una mezcla de especies y morfotipos y su abundancia relativa varía según la región. *S. natans* normalmente domina en el mar de los Sargazos (Schell et al., 2015). La información sobre la composición de las especies de *Sargassum* spp. y su morfotipo proporciona indicaciones sobre los orígenes y su transporte (Rodríguez-Martínez et al., 2020).

El sargazo se distribuye en las aguas cálidas del océano Atlántico S tropical y en el Atlántico N, incluido el mar de los Sargazos, en un área de 2 millones de km<sup>2</sup>, pero en los últimos años, ha habido varios episodios

inusuales de cantidades excesivas de las dos especies de *Sargassum* (Gower & King, 2011). Su llegada se produce de forma natural en todas las playas tropicales y semi-templadas, con variaciones estacionales originadas por las condiciones atmosféricas y oceanográficas regionales y locales (Gower & King, 2011). La presencia natural del sargazo en la costa provee alimento y nutrientes a los ecosistemas costeros, proporcionando hábitat y recursos directos a organismos intermareales. Posteriormente, el sargazo en descomposición se incorpora a los sedimentos costeros, lo que provee nutrientes para la vegetación dunar (Williams & Feagin, 2010).

En mar abierto, la estructura tridimensional del sargazo proporciona un hábitat para organismos sésiles y fauna nectónica (Thiel & Gutow, 2005). En los conglomerados de sargazo se encuentran decenas de especies de peces en fases larvaria y adulta, además de juveniles de tortugas marinas (Stoner y Greening, 1984; Witherington et al., 2012), invertebrados, crustáceos y algas (Wells y Rooker, 2004; Huffard et al., 2014). Varias de estas especies utilizan el sargazo en alguna etapa de su desarrollo (Laffoley et al., 2011), lo que manifiesta la importancia del sargazo como zona de crianza y



**FIGURA 2.** Mapa del recorrido de *Sargassum* desde el mar de los Sargazos hasta el Atlántico tropical y el mar Caribe. Fuente: NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, 2021.

Map of the *Sargassum* route from the Sargasso Sea to the tropical Atlantic and the Caribbean Sea. Source: NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, 2021.

desarrollo de especies de interés ecológico y comercial (Luckhurst, 2015; Witherington et al., 2012). También sirven como vectores de conectividad y transporte de biodiversidad entre áreas alejadas a miles de kilómetros, permitiendo el intercambio genético de especies y el transporte de nutrientes entre las costas del Atlántico (Thiel & Fraser, 2016). Este hábitat oceánico existe y se sostiene por factores ambientales que promueven o limitan su existencia, ya que el sargazo no es dependiente y no tiene barreras físicas que lo contengan. No tiene consumidores directos suficientes, y ante condiciones favorables como aguas enriquecidas con nutrientes y temperaturas adecuadas, se da un crecimiento ilimitado.

**Llegadas masivas y varados de *Sargassum* spp. en playas**

El sargazo flotante ha sido observado históricamente en una extensa zona del Atlántico central tropical,

situado entre las costas de las Antillas y del N de África, llamado mar de los Sargazos (Areces et al., 1993). Esta aglomeración fue referenciada como primer registro por las embarcaciones de Cristóbal Colón al llegar a las Américas, en 1492 (Fig. 3).

En las últimas décadas, las floraciones de macroalgas han aumentado en todo el mundo (Lapointe, 1997), lo que representa una gran amenaza para la salud pública, la salud de los ecosistemas, la pesca y el desarrollo económico (Anderson, 2007). Sin embargo, a nivel regional, la biomasa promedio llegada en los últimos años al Caribe ha sido 200 veces mayor a la documentada históricamente (Gower et al., 2013; Fidai et al., 2020). Durante la última década, grandes volúmenes han inundado las costas del Caribe, África occidental y N de Brasil. Las primeras llegadas de sargazo aparecieron en 2011 en varios puntos del Caribe, Brasil y la costa E de Asia (Franks et al., 2012; Schell et al., 2015), siendo recurrentes desde entonces a lo largo de las

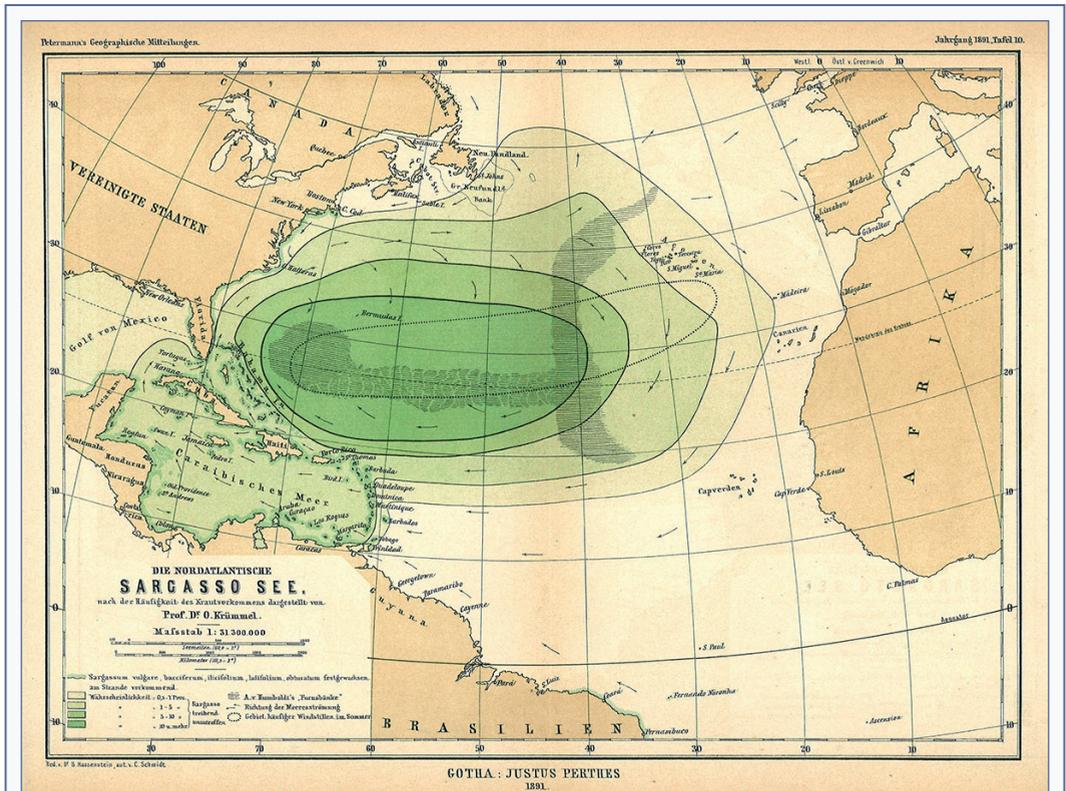


FIGURA 3. Mapa antiguo del mar de los Sargazos realizado en 1891 por el oceanógrafo Dr. Otto Krümmel.

Old map of the Sargasso Sea made in 1891 by the oceanographer Dr. Otto Krümmel.

costas del Atlántico tropical, África y Caribe (Smetacek & Zingone, 2013; Frazier, 2014; Wang et al., 2019), con un masivo influjo de sargazo pelágico desde Trinidad hasta la Rep. Dominicana, y en la costa O de África, desde Sierra Leona hasta Ghana, y en 2012 con la llegada atípica en la costa S de Cuba (Moreira & Alfonso, 2013). En 2014, otras islas y países del Caribe comenzaron a ser afectados (Gavio et al., 2015). El crecimiento anómalo del sargazo en 2015 fue considerable en comparación con la escasa presencia previa (Cuevas et al., 2018). En el Caribe mexicano se confirmó en 2015 un promedio de sargazo de  $9.726\text{ m}^3$  por mes y por km de costa (Rodríguez-Martínez et al., 2016), comparando el sargazo detectado con imágenes satelitales del 2014, se determinó un aumento del 400%. En el Caribe mexicano se informó que se extrajeron un total de 522,22T de su costa de 450 km en 2018 (Espinosa & Ng, 2020), superando los datos de fuentes orales (Gower et al., 2013; Smetacek y Zingone, 2013). En 2019 se alcanzó la cifra record de  $365\text{ km}^2$  de cobertura de sargazo respecto al promedio de los años 2011 y 2017 (Méndez-Tejeda & Rosado-Jiménez, 2019).

Según Franks et al. (2012) y Sissini et al. (2017) el origen de la nueva afluencia masiva de *Sargassum* en el mar Caribe, con cantidades inusualmente grandes de *Sargassum* spp. de forma masiva durante 2015 (Pendleton et al., 2014), no está directamente relacionado con el mar de los Sargazos. Según Gower et al. (2013) y Johnson et al. (2014) la cobertura del mar de los Sargazos no ha tenido un cambio significativo en los años donde se ha producido un incremento en el Caribe. Wang et al. (2019) plantea que desde el año 2011 se ha formado un cinturón de sargazo en el Atlántico, que se extiende desde el occidente africano hasta

el golfo de México, con 8.850 km de largo y más de 20 millones de toneladas de biomasa. Esta formación es atribuida al aporte de nutrientes provenientes del occidente africano, de la cuenca del río Amazonas, del polvo del Sahara y de la eutrofización de las aguas del Caribe (Rodríguez-Martínez et al., 2016; Serebryakova et al., 2018; Wang et al., 2019). Cedeño (2015) plantea la estrecha relación entre el índice de oscilación del Ártico y la frecuencia e intensidad de los frentes fríos en relación al aumento de sargazo. Brooks et al. (2018) mencionan un ciclo estacionario entre el mar de los Sargazos, el golfo de México y la región S del Atlántico, el cual es mediado por el viento y la eutrofización de las aguas. Por otra parte Méndez-Tejeda & Rosado-Jiménez (2019) atribuyen a dos factores climáticos que influyen en el movimiento de sargazo hacia el Caribe; el anticiclón de Azores y los vientos alisios. Se ha planteado que la producción excesiva de estas algas en el Caribe proviene de la costa E y N de Brasil, transportado a través de los canales entre el continente y las Antillas menores por las corrientes de Guayana y las Antillas, y posteriormente hacia el O por el sistema de circulación del mar Caribe y los vientos predominantes de la región (Andrad & Barton, 2000; Wang & Hu, 2016). Diversas investigaciones confirman el incremento exponencial de la cobertura de sargazo proveniente de la región norecuatorial y su dispersión al interior del Caribe (Franks et al., 2012; Gower et al., 2013; Wang & Hu, 2016). Las imágenes de satélite revelaron que el origen de la mayor parte de las afluencias de sargazo en el mar Caribe no es el mar de los Sargazos, sino un área al N del Ecuador, identificada como la región de recirculación ecuatorial del N, no asociada con las floraciones de sargazo, y conocida actualmente como el



**FIGURA 4.** Acumulación de sargazo en las playas de República Dominicana. **A.** Playa Cabeza de Toro. **B.** Playa del Cortecito, Bávaro.

Sargassum accumulation on the beaches of the Dominican Republic. **A.** Cabeza de Toro beach. **B.** Cortecito beach, Bávaro.

Gran Cinturón de Sargazos del Atlántico (Gower et al., 2013; Brooks et al., 2018; Wang et al., 2019).

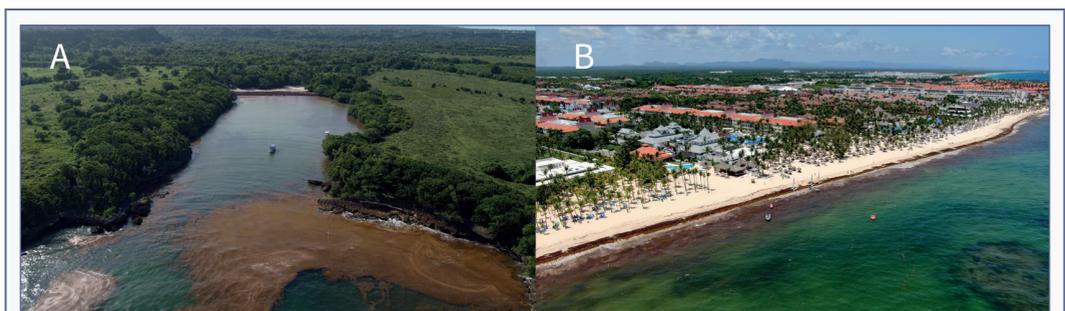
Arreguín-Sánchez (2019) parte de la hipótesis que los arribazones están ligados a procesos oceánicos de gran escala cuya dinámica es regida por el fenómeno de cambio climático, con el cambio de fase del índice de la oscilación del Atlántico Norte (NAO), que representa la diferencia de presión atmosférica a nivel del mar entre Islandia e islas Azores, controlando la fuerza y la dirección de los vientos y las trayectorias de las tormentas en el Atlántico N, entrando en fase negativa aproximadamente a mitad de la década de los 2000 (Tedesco et al., 2013). Los cambios en el NAO se manifiestan en los patrones de corrientes marinas, y al entrar en fase negativa, la corriente del Atlántico N se debilita mientras que la corriente de retorno en sentido opuesto en aguas profundas se fortalece. Al mismo tiempo los vientos alisios, que provienen del continente africano, y los contralisios, desde el continente americano, se debilitan, y el giro del Atlántico Subtropical tiende a intensificarse. Las tendencias crecientes de largo plazo, junto con las condiciones favorables para su crecimiento y desarrollo, se ven favorecidas por los nutrientes disponibles frente a las regiones continentales (Arreguín-Sánchez, 2019). Diversos autores plantean que las entradas anómalas de nutrientes provenientes de la descarga de los grandes ríos del Atlántico contribuyen a su reproducción, desde el río Mississippi en Estados Unidos, hasta los grandes ríos tropicales como el Congo, en África, Amazonas y Orinoco, en América del S (Johnson et al., 2014; Smetacek & Zingone, 2013). Actualmente hay más aportes que la capacidad de asimilación de los sistemas marinos, muchos de ellos asociados a la deforestación de la selva con el objetivo de la extracción

de maderas y cambios de uso de suelo, monocultivos y ganadería, agroquímicos, pesticidas y fertilizantes, que contribuyen con altos contenidos de nitrógeno y fósforo (Goes et al., 2014; Djakour et al., 2017), así como con una carga de grandes cantidades de desechos orgánicos de ganado (Meyer-Reil & Köster, 2000).

### Impactos asociados a la presencia de sargazo en la zona litoral

Las llegadas masivas de sargazo pueden ser consideradas un fenómeno natural perturbador que genera un “desastre” o “alteración” con impactos directos e indirectos en áreas ecológicamente sensibles, como hábitats bentónicos y costeros, áreas naturales protegidas y humedales terrestres, entre otros. Los estudios han demostrado el impacto negativo de grandes concentraciones de sargazo a lo largo la costa, especialmente sus playas, con daños no solo económicos, sino también en sus ecosistemas (Rodríguez-Martínez et al., 2016; Milledge & Harvey, 2016). Se ha dado también una afectación a los arrecifes coralinos, pastos marinos y dunas costeras afectados por los efectos de la llegada masiva de sargazo (van Tussenbroek et al., 2017; Cabanillas-Terán et al., 2019).

Una vez que el sargazo llega a la costa, se acumula en masas que pueden tener más de 1,5 m de potencia y varios metros de ancho (Figs. 4A-B). Si se deja en su lugar, los restos de sargazo se descomponen en unos pocos días y producen hidrógeno, gas sulfuro, lixiviados y materia orgánica particulada, comportando el agotamiento de oxígeno, reducción de la luz y deterioro de la calidad del agua (Figs. 5A-B), conduciendo en algunas áreas a la muerte de comunidades bentónicas y de fauna (Cruz-Rivera et al., 2015). La descomposición



**FIGURA 5.** Presencia de sargazo en suspensión frentes a costas arenosas de República Dominicana. **A.** Playa Bávaro. **B.** Playa Diamante.

Presence of sargassum in suspension off sandy coasts of the Dominican Republic. **A.** Bavaro Beach. **B.** Diamante Beach.

agota el oxígeno en las aguas cercanas a la costa, aumenta la presencia de amoníaco y sulfuros, reduciendo la columna de agua, causando la mortalidad de pastos marinos cercanos a la costa (Rodríguez-Martínez et al., 2019). Van Tussenbroek et al., (2017) argumenta mayor erosión, mortalidad de pastos marinos, como la *Thalassia*, y la fauna, debido a lixiviados de sargazo y la abundante materia orgánica en suspensión que obstruye el paso de luz a zonas más profundas de la costa (Fig. 5B), alterando la estructura trófica a lo largo de los sistemas marinos (Cabanillas-Terán et al., 2019). Los arrecifes de coral y praderas marinas son clave y abundantes en esta región, y se ha demostrado que están afectadas por el arribo y permanencia de grandes cantidades de sargazo.

Las masas de *Sargassum* spp. en tierra y cerca de la costa interfieren también el viaje de las tortugas juveniles, afectando su anidación causada por las actividades de recolección y limpieza mecánica en la playa, con su consecuente compactación (Maurer et al., 2015,

2018). Durante el 2015 en la península de Guanahacabibes (S de Cuba), se registró una llegada de sargazo de 1,5 m de potencia que afectó, en un 50%, el éxito de anidación de las tortugas (Azanza-Ricardo & Pérez-Martín, 2016). Las masas de sargazo en la costa pueden extenderse decenas de metros en el agua y forman una barrera para las tortugas nidificantes y las crías (Fig. 4). Durante el evento de 2015, se observó que el sargazo en la playa actuaba como una barrera que impedía el acceso de las tortugas carey en playas de Antigua, donde no hubo actividad de anidación en los tramos con cantidades masivas de sargazo (Maurer et al., 2015). La acumulación en las playas también puede afectar la eclosión de tortugas por la compactación relacionada con la actividad de limpieza mecánica, o la mortalidad de huevos cuando los nidos están afectados por lixivaciones, o bien tortugas recién nacidas que no podían pasar la barrera del sargazo en Cuba (Azanza-Ricardo & Pérez-Martín, 2016; Gavio & Santos-Martínez, 2018).

El sargazo ha ocasionado severos daños, los más



**FIGURA 6.** Diferentes tipos de recolección de sargazo en playas de México, Riviera Maya

Different types of sargassum collection in beaches of Mexico, Riviera Maya

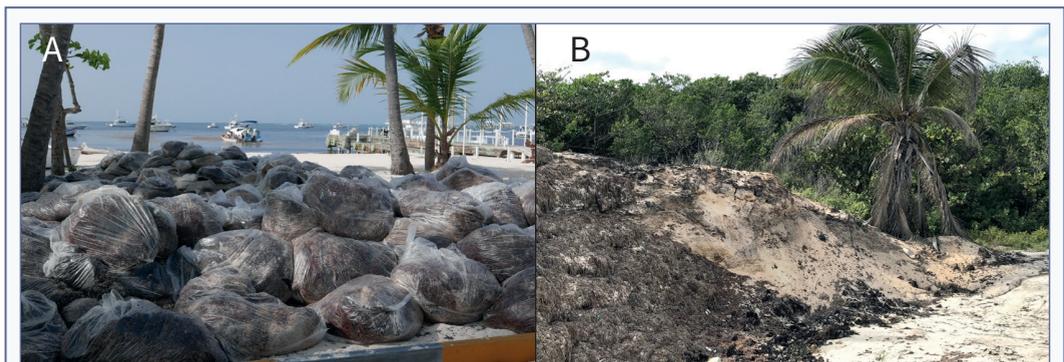
llamativos han sido en áreas de interés económico, y con mucho menos énfasis, los que se presentan en áreas ecológicamente sensibles (van Tussenbroek et al., 2017). La industria turística, basada en ecosistemas costeros, una de las principales fuentes de ingresos de los países del Caribe (Langin, 2018), sufrió impactos socioeconómicos asociados a la degradación de los ecosistemas debido a la afluencia de sargazo. Por otra parte, la compactación de la arena cambia su rugosidad natural y elimina rasgos morfológicos efímeros de playa y vegetación asociada, lo cual incrementa el ángulo de incidencia del viento, aumentando la erosión, y por ende provocando afectaciones al sistema dunar y a los servicios ecosistémicos costeros (Escudero-Castillo et al., 2018).

### Gestión de su retirada

Actualmente, debido a la emergencia ambiental ante la llegada y depósito masivo de Sargazo, se han publicado protocolos técnicos y de gestión por parte de los gobiernos (CATI, 2018; DRNA, 2015; Semarnat, 2021). Todos los lineamientos mencionan la importancia de las dunas costeras, las acciones que se deben tomar durante la limpieza del sargazo para evitar el daño de las dunas y la importancia de las mismas en estado saludable para la anidación de las tortugas marinas. Debido a su impacto sobre el turismo, las algas son recolectadas manual y mecánicamente: rastrillos, redes, camiones, palas cargadoras o sargaceras (Fig. 6A-D), alterando la remoción el aporte natural de materia orgánica, disminuyendo el desarrollo de microorganismos y fauna intersticial, así como la cantidad de

nutrientes necesarios para las comunidades vegetales dunares, afectando negativamente a las dunas embrionarias y, por consiguiente, la estabilización natural del sedimento (Innocenti et al., 2018).

Escudero-Castillo (2018) hace referencia a la erosión de playas por la retirada de sargazo. Las tareas de limpieza se realizan a diario y se estima una recolección de aproximadamente 620 m<sup>3</sup> por día de material retirando, con un promedio unas 8.000T de biomasa húmeda por temporada, equivalentes a unas 960T en peso seco, de los cuales entre un 50 y 70% en peso seco es arena, según Eyras & Sar (2003). En las costas de México, Rodríguez-Martínez et al. (2016) argumenta que la erosión de playas se agrava con la gestión del sargazo, ya que cerca de 60% del volumen removido por las máquinas es arena. Oxenford et al. (2021) estiman porcentajes entre 40 y 90% de sedimento retirado. Un estudio realizado de perfiles de playa por Chávez et al. (2020) muestran que en marzo de 2008, el ancho de la playa seca era de 31 m y el volumen de arena estimado era de 28 m<sup>3</sup>/m, ambos parámetros se mantuvieron relativamente estables hasta 2012. En octubre de 2018, el ancho de la playa disminuyó a 16 m y el volumen de arena hasta 15 m<sup>3</sup>, reduciéndose en junio de 2019 a 15 m y 13 m<sup>3</sup>, atribuyendo los autores a una pérdida de arena asociada a la retirada de sargazo. Al igual que sucede con la retirada de *Thalassia* en el Caribe (Roig-Munar et al., 2021), la retirada es acopiada en espacios lejanos de la playa sin actuaciones de retirada de sedimento, hecho que lleva implícito la erosión continuada del sistema y en muchas ocasiones estos depósitos son tratados como residuos (Fig. 7A-B). Por tanto,



**FIGURA 7.** Acopios de sargazo tratados como residuos. **A.** Playa de Cabeza Toro, Rep. Dominicana. **B.** Tulum, México.

Sargassum stockpiles treated as waste. **A.** Cabeza Toro beach, Rep. Dominican. **B.** Tulum, Mexico.

Retirada	País	Playa	N muestras	Vol. acopio m <sup>3</sup>	Sedimento (%)	Vol. Arena m <sup>3</sup>	m playa	m <sup>3</sup> /m playa	Sedimento % país
Manual		Puerto Morelos	6	156,8	56,45	88,51	650	0,14	
Manual		Akumal	4	2.750	51,05	1.403,88	871	1,61	
Manual	México	Tulum	6	3.550	48,37	1.717,14	1.600	1,07	
Manual		Cancún	6	3.475	53,53	1.860,17	1.075	1,73	53,53
Manual		Playa del Carmen	4	2.675	56,78	1.518,87	1.250	1,22	
Manual		Cabeza de Toro	4	760	49,99	379,92	1.200	0,32	
Manual		Punta Cana	6	400	55,75	223,00	1.600	0,14	
Manual		Mitiches	4	950	35,86	340,67	450	0,76	
Manual	Rep. Dominicana	Cortecito	4	1.200	45,91	550,92	550	1,00	
Manual		Esmeralda	4	450,5	41,18	185,52	450	0,41	49,99
Manual		Bavaro	4	1.670	51,83	865,56	950	0,91	
Manual		Diamante	5	875	78,69	688,54	210	3,28	
Sargacera		Puerto Morelos	6	15	49,71	7,4565	125	0,06	
Sargacera	México	Tulum	6	15	68,92	10,338	125	0,08	68,92
Sargacera		Cancún	6	15	74,4	11,16	125	0,09	
Sargacera		Punta Cana	6	15	65,34	9,801	125	0,08	
Sargacera	Rep. Dominicana	Bavaro	6	15	72,81	10,9215	125	0,09	69,08
			<b>Tot. 87</b>	<b>Tot. 18.987,3</b>	<b>Mdn. 53,53</b>	<b>Tot. 9.872,36</b>	<b>Tot. 11.481</b>	<b>Mdn. 0,41</b>	<b>Mdn. 61,23</b>

**TABLE 1.** Resultados obtenidos para cada acopio de playa y su relación con la longitud. Tipo de retirada. País. Número de muestras tomadas. Volumen del acopio analizado. Porcentaje de sedimento asociado. Volumen de arena en m<sup>3</sup>. Longitud de playa en m lineales. Metros cúbicos retirados por metro lineal de playa. Sedimento retirado por países.

Results obtained for each beach stockpile and its relation to length. Type of withdrawal. Country. Number of samples taken. Volume of the stockpile analyzed. Percentage of associated sediment. Volume of sand in m<sup>3</sup>. Length of plane in linear m. Cubic meters removed per linear meter of beach. Sediment removed by country.

en base a los estudios consultados podemos establecer que la retirada implica una pérdida de sedimento en un amplio rango de porcentajes, entre 40 y 90%. A pesar de estos valores ofrecidos de erosión y pérdida de sedimento y de afectación al sistema playa-duna emergido, Mercadé (2019) defiende que las máquinas sargaceras no alteran el perfil de playa y no generan pérdidas de sedimento asociado a su retirada mecanizada, ofreciendo el valor cero por lo que respecta a la retirada de sedimento en maquinaria tipo Beach Trotters modelos Scarbart y cribadora.

### Área de estudio, objetivos y metodología

El estudio ha sido realizado en playas turísticas de México y República Dominicana (Fig. 1). El objetivo de este trabajo es aportar una cifra más aproximada a los valores consultados de pérdida de sedimento asociado a su retirada y gestión, entre 40 y 90% según los estudios consultados. El estudio se centra en cuantificar el contenido sedimentario de las retiradas de sargazo, tanto manuales como con maquinaria, en 12 playas mediante muestreos de *Sargassum* spp. retirado (Fig. 6 y 7).

Para establecer el volumen de sedimento retirado asociado a la gestión de su retirada, se ha seguido la metodología aplicada en las islas Baleares y en el Caribe para determinar pérdidas de sedimento asociado a retiradas de *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo (Simeone & de Falco, 2013; Roig-Munar et al., 2019), y de *Thalassia testudinum* en el Caribe (Roig-Munar et al., 2021). La metodología utilizada para la cuantificación del sedimento asociado a la extracción de sargazo se ha basado en:

1. Análisis de un volumen de 18.987,3 m<sup>3</sup> retirados de *Sargassum* spp. mediante limpieza manual y mecanizada (Fig. 6), 12 playas con limpieza manual mediante rastrillados y acarreo en palas, y 5 playas con limpieza mecanizada (Tabla 1), alguna de ellas con máquinas *Beach Trotters*.

2. Determinación del volumen total de cada uno de los acopios analizados, obteniendo el volumen de la muestra en m<sup>3</sup> (Tabla 1), en relación a la línea de playa objeto de retirada de sargazo.

3. Muestreo de cada acopio, con un máximo de 48 horas después de las actuaciones de retirada. Se realiza un muestreo aleatorio, en diferentes puntos del acopio y a diferentes profundidades, entre 10 y 20 cm (Fig. 8A-B). El muestreo ha consistido en la extracción de 87 muestras mediante sondeos verticales (Tabla 1), siguiendo la metodología de Campbell & Henshall (1991), con una muestra cilíndrica de 5,5 x 22 cm, equivalente a un volumen de 522 cc de muestra.

4. Las muestras se han tratado en laboratorio para determinar su contenido de agua, de sedimento y de materia orgánica, secándolas a temperatura ambiente, para pasar, finalmente, un ciclo de entre 24 y 48 horas en la estufa a 55-65°C a fin de no dañar la materia orgánica (Blair & McPherson, 1994).

### Resultados

Se ha analizado el contenido sedimentario de 87 muestras asociadas a acopios de Sargazo con un período inferior a las 48 horas de su retirada, de cara a evitar la desecación del alga (Figs. 6 y 7). El volumen total de acopios analizado es de 18.987,3 m<sup>3</sup>, sobre una



**FIGURA 8.** Muestreos de sargazo retirado a 15 cm de profundidad sobre acopios diarios de retirada.

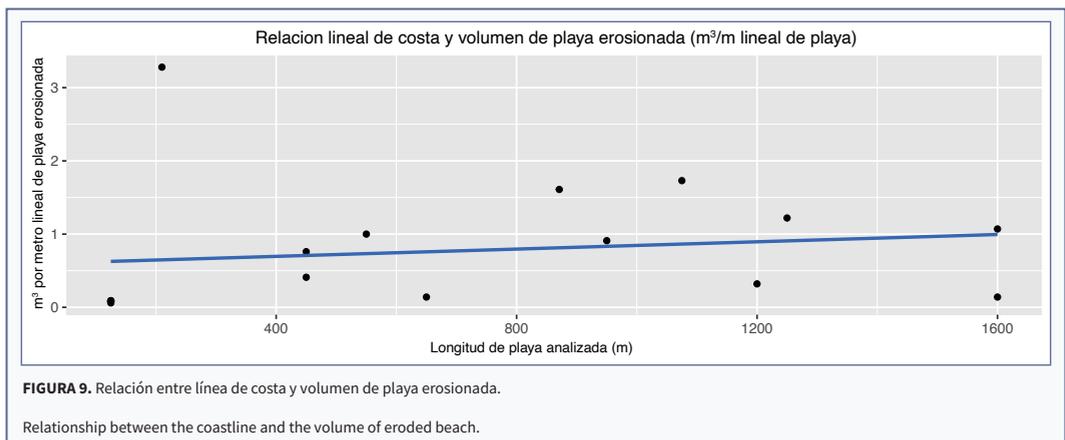
Sampling of sargassum withdrawn at a depth of 15 cm on daily withdrawals stockpiles.

línea de costa de 11.481 m de playa (Tabla 1). El resultado total analizado supone un volumen de 9.872,36 m<sup>3</sup> de sedimento retirado asociado a los restos de sargazo varados sobre las playas. El porcentaje de sedimento intercalado en los acopios supone una media del 53,53% del volumen total analizado. De estos resultados hemos de diferenciar los asociados al rastrillado, con valores medios de 51,44%, diferenciando un 53,53% en las playas de México y un 49,99% en las playas de Rep. Dominicana, valores inferiores a los establecidos por Roig-Munar et al. (2021) mediante la retirada de *Thalassia testudinum*, con porcentajes de 89,86% de sedimento asociado. Los valores más altos se dan en la playa de Diamante (Rep. Dominicana) con valores de 78,69%, que son atribuibles a retiradas mediante maquina excavadora sobre una playa asociada a pequeños arroyos, facilitando las tareas de retirada su compactación y cohesión de algas y sedimento. Playas eminentemente turísticas como Punta Cana, Bávaro, Cancún y playa del Carmen ofrecen valores entre 51 y 55% de sedimento asociado a las gestiones diarias de retirada manual.

Por lo que respecta a los valores asociados a la retirada mecanizada mediante sargaceras, los valores medios de retirada de sedimento analizados en las tolvas son de 68,9%, con importantes mayores pérdidas de sedimento que las relacionadas con las tareas manuales. Estas actuaciones mecánicas agravan el equilibrio del sistema mediante la compactación, modificación del perfil de playa, y la afectación al sistema como biota. La forma de retirada mecánica de los restos depositados sobre la playa sin que estos creen bermas y trabajando por debajo del nivel de playa, a escasos cm, favorece

un mayor porcentaje de sedimento intercalado, ya que las máquinas actúan como cribadoras y niveladoras. A pesar de estos porcentajes y los resultados de nivelación y compactación (Fig. 5A), Mercadé (1991) argumenta que las máquinas sargaceras de la marca *Beach Totters* mantienen el perfil de playa y evitan al 100% la erosión, hecho que se demuestra erróneo o falso en este trabajo, y contradictorio con las figuras aportadas por Mercadé (1991: Fig. 2).

Los resultados porcentuales de retirada de sedimento de las playas analizadas (Tabla 1) difieren de los resultados obtenidos en estudios previos a lo largo del Caribe, y no son atribuibles únicamente al contenido sedimentario imbricado de las algas retiradas (Fig. 6), sino que un importante porcentaje es el resultado de los sistemas de limpieza aplicados y de la propia morfología de las tres especies analizadas (*Sargassum* spp., *Thalassia* y *Syringodium*). Las especies *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme* presentan hojas en morfología de cinta, esta se acumula mediante adose de materia orgánica y barras arenosas, creando bermas compactas de agua, sedimento y materia orgánica, no dejando porosidad en su deposición, hecho que incrementa los porcentajes de retirada sedimentaria en su gestión (89,86%). A su vez el sargazo presenta una morfología tridimensional y una llegada masiva en volúmenes en suspensión, que no permite el adose de barras sumergidas sobre la masa depositada en la playa, por tanto, el sedimento asociado a las grandes masas es menor, especialmente con técnicas de redes y embarcaciones. Aunque su retirada en la playa emergida una vez se retiran las mayores potencias incrementa



la cohesión entre sedimento, el alga y la propia playa, aumentando de forma considerable el arrastre de este, y por ende su retirada, especialmente en el uso de maquinaria.

De los resultados obtenidos se ha calculado la relación entre la línea de costa objeto de actuación y el volumen de playa erosionada (Fig. 9), donde se aprecia una relación entre la línea de costa y la retirada de  $m^3$  de sedimento asociado a la retirada, con una concentración de las playas en las zonas con mayores acopios de alga retirada, no pudiendo relacionarlo con su residencia sobre la playa, ni a una menor erosión en playas largas que han sido objeto de actuación. La relación entre el sedimento asociado a la retirada con la longitud de las playas afectadas representa  $0,41 m^3/m/año$ , valor que se sitúa por debajo de los valores establecidos por la retirada de *Thalassia testudinum* con un orden de magnitud de  $1,11 m^3/m/año$  (Roig-Munar et al., 2021).

## Discusión

La eliminación del sargazo es una práctica extendida desde hace décadas en las playas del Caribe, aunque desde 2011, su llegada masiva a las costas arenosas turísticas se ha incrementado. Su llegada excepcional se encuentra asociada a un evento de cambio climático y crisis ambiental que afecta a números países caribeños, y su retirada va más allá de la única finalidad de mejorar el uso recreativo de las playas, basándose en el concepto limpieza.

El impacto que supone la retirada de las tres especies: *Sargassum*, *Thalassia* y *Syringodium*, afecta a la sensibilidad ambiental la playa y del frente de duna por la pérdida de sedimento y por las consecuencias de compactación de playa y erradicación de vegetación de playa alta. La conjunción de ambas actuaciones supone una importante cantidad de sedimento que sale del sistema playa-duna, dando lugar a unos balances sedimentarios negativos continuados y de carácter anual a los largo de las últimas décadas, suponiendo la afectación continuada sobre el sistema emergido, así como una importante pérdida de volumen y superficie de playa debido a la forma de retirada, transporte y deposición. A pesar de existir diferentes protocolos de gestión estas prácticas se realizan generalmente sin criterios geomorfológicos, por lo que se eliminan anualmente cientos de metros cúbicos de sedimento neto de playa, que debido a su forma de retirada sobre

la superficie de playa altera negativamente y de forma continuada el balance sedimentario del sistema, acelerando procesos de regresión de playa-duna asociada a actuaciones antrópicas. A estos hechos se agrava la falta de gestiones encaminadas a la recuperación sedimentaria de acopios y su posterior retorno a medios litorales, en aras de compensar los efectos erosivos de su retirada continuada.

Los datos de las gestiones del sargazo son difíciles de obtener, ya que se trata de gestiones realizadas habitualmente por gestores privados y/o hoteleros, que no realizan recuentos de volúmenes retirados. Así mismo, la disponibilidad de visitación de acopios es ardua y difícil, ya que muchos de los acopios han sido tratados como residuos o sirven como negocio de venta de arena destinada a la construcción. Otras retiradas son acopiadas en parcelas privadas de los hoteles, hechos que suponen más allá de la pérdida sedimentaria el potencial de contaminación de acuíferos.

## Conclusiones

El estudio se ha realizado en 12 playas caribeñas con un total de 87 muestras analizadas. El resultado final, con un promedio un 53,53 %, del volumen de los restos de sargazo acumulados en las playas corresponde a sedimento arenoso, lo que equivale a un total de  $9.872,36 m^3$  de arena que no retornan al sistema playa-duna debido a la gestión de los acopios. En un horizonte temporal sobre la longitud total de playas analizadas se obtiene un valor de metros cúbicos de sedimento por metro de línea de costa que equivalen a  $0,41 m^3/m/año$ .

Los resultados demuestran que el uso de maquinaria es más nocivo por lo que respecta a pérdida de sedimento que las retiradas manuales. A pesar de que el tiempo invertido posiblemente es menor, la erosión es mayor en porcentajes sedimentarios y en efectos de compactación y erradicación de formas.

Así pues, estas gestiones de retirada de sargazo, a pesar de su importancia de retirada para no afectar otros ecosistemas, no favorecen la integridad del sistema en términos morfológicos y sedimentológicos, ya que interfieren de forma erosiva en los balances sedimentarios del perfil de la playa emergida, afectados de forma directa y continuada con la pérdida de sedimento. La retirada del sargazo, juntamente con las retiradas de *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme* supone la regresión de playas de forma continuada,

especialmente en playas de usos turísticos y recreativo, siendo uno de los factores actuales más regresivos asociados a la gestión litoral de playas en el Caribe.

La producción excesiva de sargazo, y en consecuencia del arribo masivo a la costa, representa una problemática geoambiental de carácter internacional, sin límites ni fronteras políticas. Destaca la modificación y contaminación de cuencas hidrográficas que drenan al Atlántico, juntamente a la elevación de la temperatura del mar como consecuencia del cambio climático, factores que incrementan la productividad del sargazo. El problema se erige como un fenómeno natural concatenado de expresión extrema, donde los países del Caribe, con llegadas masivas de sargazo, solo pueden actuar en su retirada y minimización de llegada a la costa mediante embarcaciones y redes. Mientras que al ser un problema de carácter internacional y transfronterizo, la solución global únicamente podría gestionarse correctamente, y en primera instancia, en las cuencas fluviales, planes de forestación, minería y cultivos responsables en los continentes que drenan al Atlántico, ya que la gestión en destino del sargazo se presenta tediosa, permanente y con resultados de carácter erosivo por lo que respecta al sedimento y contaminante por lo que respecta a su acopio.

### Agradecimientos

Los resultados del presente estudio se enmarcan dentro de los proyectos de consultoría ambiental; a) Análisis Ambiental y Propuesta de Gestión Sostenible para Playas de uso Turístico en República Dominicana (BID ATN/OC-16820-DR), y b) Diagnóstico de los sistemas playaduna de los complejos turísticos del Grupo Hotelero Piñero en las costas de México, Jamaica y República Dominicana.

### Bibliografía

- Amaral-Zettler, L. A., Dragone, N. B., Schell, J., Slikas, B., Murphy, L. G., Morrall, C. E., Zettler, E. R., 2017.** Comparative mitochondrial and chloroplast genomics of a genetically distinct form of *Sargassum* contributing to recent "Golden Tides" in the Western Atlantic. *Ecology and Evolution*, 7: 516–525.
- Anderson, D. M., 2007.** The ecology and oceanography of harmful algal blooms: multidisciplinary approaches to research and management. In: IOC Technical Series. vol. 74 UNESCO
- Andrade, C. A., & E. D. Barton, 2000.** Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105(C11): 26191- 26201.
- Arecas, A. J., Suárez, A. M., Valdés, O. & Cano, M., 1993.** Recomendaciones metodológicas para evaluar el sargazo de arribazón. *Archivo Científico, Instituto de Oceanología*, 1: 758-93.
- Arreguín-Sánchez, F., 2019.** Climate change and the rise of the octopus' fishery in the Campeche Bank, Mexico. *Regional Studies in Marine Science*, 32 (2): 100852.
- Azaña-Ricardo, J. & Pérez-Martín, R. 2016.** Impacto de la acumulación de sargazo del verano del 2015 sobre las tortugas marinas de playa de La Barca, península de Guanahacabibes. *Revista Investigaciones Marinas*, 36: 54-62.
- Blair, T. C. & McPherson, J. G., 1994.** Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and faces assemblages. *Journal of Sedimentary Research*, 64: 450-489.
- Brooks, M. T., Coles, V. J., Hoo d, R. R. & Gower, J. F. R., 2018.** Factors controlling the seasonal distribution of pelagic *Sargassum*. *Marine Ecology Progress Series*, 599: 1-18.
- Brown, A. & McLachlan, A., 1990.** *Ecology of sandy shores*. 392 pp Elsevier, Hardbound. Academic Press.
- Cabanillas-Terán N., Hernández-Arana H.A., Ruiz-Zárate M. Á., Vega-Zepeda A. & Sanchez-Gonzalez A., 2019.** *Sargassum* blooms in the caribbean alter the trophic structure o the sea urchin diadema antillarum. *PeerJ* 7(4): e7589.
- Campbel, D. J. & Henshall, J. K., 1991.** Bulk Density. In: Smith K. A. & Mullins C. E. (Eds). *Soil Analysis*, 329-366.
- Casazza, T. L. & Ross, S. W. 2008.** Fishes associated with pelagic *Sargassum* and open water lacking *Sargassum* in the Gulf Stream off North Carolina. *Fishery Bulletin*, 106: 348-363.
- CATI, 2018.** *Tecnologías sobre la recolección del sargazo*. Centro de Apoyo a la tecnología e Innovación (CATI-CARD) en los Países centroamericanos y la República Dominicana. *Estudio Sobre Tecnologías Sobre la Recolección del Sargazo*. *Boletín de vigilancia tecnológica*, 2: 1-48.
- Cedeño, A. R. 2015.** Oscilación Ártica y frentes fríos en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(1), 91-102.
- CEPAL. 2015.** Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, tendencias y variabilidad climática. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, 265 pp.
- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E. Rodríguez-Martínez, R E., van Tussenbroek, B. I., Vanessa, F., and Estévez, M., Lourdes C., 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*, 12: 2908.
- Cruz-Rivera, E., Flores-Díaz, M. & Hawkins, A., 2015.** A fish kill coincident with dense *Sargassum* accumulation in a tropical bay. *Bulletin of Marine Science –Miami*, 91 (4): 455–456.

- Cuevas, E., A. Uribe-Martínez, M. A & Liceaga-Correa, M. A. 2018.** A satellite remote-sensing multi-index approach to discriminate pelagic Sargassum in the waters of the Yucatan Peninsula, Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 39(11): 3608-3627.
- Djakour, S. M., Araujo, A. Hounsou-Gbo, C. Noriega, & B. Bourlés, 2017.** On the potential causes of the recent Pelagic Sargassum blooms events in the tropical North Atlantic Ocean. *Biogeosciences*: 2017-346.
- DRNA, 2015.** Protocolo para en manejo de acumulación extrema de sargazo en las costas de Puerto Rico. 13 pp. Departamento de Recursos Naturales y Ambientales del Estado libre asociado de Puerto Rico.
- Escudero-Castillo, M., Felix-Delgado, A., Silva, R., Mariño-Tapia, I. & Mendoza E., 2018.** Beach erosion and loss of protection environmental services in Cancun, Mexico, *Ocean & Coastal Management*, 156:183-197.
- Espinosa, L. A. & Ng, J. J. L., 2020.** El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México (Documento de trabajo No. 20/02). BBVA Research.
- Eyras, M. & Sar, E., 2003.** Arribazones estivales en Puerto Madryn, Argentina, como materiales para la obtención de compost. *Boletín Sociedad Argentina de Botánica*, 38(1-2): 105-111.
- Fidai, Y. A., Dash, J., Tompkins, E. L. & Tonon, T., 2020.** A systematic review of floating and beach landing records of *Sargassum* beyond the Sargasso Sea. *Environmental Research Communications*, 2: 122001.
- Franks, J. S., Johnson, D. R., Ko, D. S., Sánchez-Rubio G., Hendon, J.R. & Lay, M., 2012.** Unprecedented influx of Pelagic Sargassum along Caribbean Island Coastlines during summer 2011. *Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 64: 6-8.
- Frazier, J., 2014.** Advanced Prediction of the Intra-americas Sargassum season Through Analysis of the Sargassum loop System Using Remote Sensing Technology. Master's Thesis. Available electronically from. Texas A & M University.
- Gavio, B. & Santos-Martinez, A., 2018.** Floating Sargassum in Serranilla Bank, Caribbean Colombia, may jeopardize the race to the ocean of baby sea turtles. *Acta Biológica Colombiana*, 23 (3): 311-314.
- Gavio, B., Rincón-Díaz, M. & Santos-Martínez, A., 2015.** Massive quantities of pelagic Sargassum on the shores of San Andres Island, Southwestern Caribbean. *Acta Biológica Colombiana*, 20 (1): 239-241.
- Goes, J. I., Gomes, H. R., Chekalyuk, A. M., Carpenter, E. J., Montoya, J. P., Coles, V. J., Yager, P. L., Berelson, W. M., Capone, D. G., Foster, R. A., Steinberg, D. K., Subramaniam, A. & M. A. Hafez, 2014.** Influence of the Amazon River discharge on the biogeography of 5 phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. *Progress in Oceanography*, 120: 29-40.
- Gower, J., & S. King, 2011.** Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. *International Journal of Remote Sensing*, 32/7: 1917-1929.
- Gower, J., Young, E. & King, S., 2013.** Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011. *Remote Sensing. Letters*, 4 (8): 764-773.
- Guimaraes, M.; Zúñiga-Ríos, A.; Cruz-Ramírez, C. J.; Chávez, V.; Odé-ritz, I.; van Tussenbroek, B.I.; Silva, R., 2021.** The Conservational State of Coastal Ecosystems on the Mexican Caribbean Coast: Environmental Guidelines for Their Management. *Sustainability*, 13: 2738.
- Hanisak, M.D. & Samuel, M.A. 1987.** Growth rates in culture of several species of Sargassum from Florida, U.S.A. *Hydrobiologia*, 151/152: 399-404.
- Hesp, P. A. 2002.** Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology, and dynamics. *Geomorphology*, (48): 245-268.
- Huffard, C. L., von Thun S., Sherman, A. D., Sealey, K., & Smith K. L., 2014.** Pelagic Sargassum community change over a 40-year period: temporal and spatial variability. *Marine Biology*, 161(12): 2735-2751.
- Innocenti, R.A., Feagin, R.A. & Huff, T.P., 2018.** The role of Sargassum macroalgal wrack in reducing coastal erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 214: 82-88.
- Johnson, D. R, Ko, D.S., Franks, J.S., Moreno, P. & Sanchez-Rubio, G. 2014.** The Sargassum invasion of the eastern Caribbean and dynamics of the equatorial North Atlantic. *Proceedings of the 65th annual Gulf Caribbean Fisheries Institute*, 65: 102-103.
- Komar, P. D. 1999.** Coastal Changes Scales, of processes and dimension of problems. In: Kraus, N.C. & McDougal, W.G. (Eds.) *Coastal sediments, Proceeding of 4th International Synopsium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes*. American Society of Civil Engineers, 1, Whashington D.C. 1-17.
- Laffoley, D., Roe, H. S. J., Angel, M. V., Ardron, J., Bates, N. R., Boyd, I., Brooke, S., Buck, K. N., Carlson, C. A., Causey, B. & Conte, M. H., 2011.** The Protection and Management of the Sargasso Sea: The Golden Floating Rainforest of the Atlantic Ocean. *Summary Science and Supporting Evidence Case*. Sargasso Sea Alliance. pp. 44.
- Langin, K. 2018.** Seaweed masses assault Caribbean islands. *Science* 360:1157-1158.
- Lapointe, B. E., 1997.** Nutrient thresholds for bottom-up control of macroalgal blooms on coral reefs in Jamaica and southeast Florida. *Limnology Oceanography*. 42, 1119-1131.
- Luckhurst, B. E., 2015.** Analysis of ICCAT reported catches of tunas and swordfish in the Sargasso Sea (1992-2011). *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 71(6): 2900-2912.
- Marmorino, G.G., W.D., Miller, B., Smith & Bowles, J. G. 2011.** Airborne imagery of a disintegrating Sargassum drift line. *Deep Sea*

Research Part I: Oceanographic Research Papers, 58: 316- 321.

- Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J. B., García-Franco, J. G., Moc-tezuma, C. & Jiménez, C. D., 2006.** Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation*, 33: 109-117.
- Maurer A. S., Stapleton S. P. & Layman C. A., 2018.** Impacts of the Caribbean Sargassum influx on sea turtle nesting. In: *Proceedings of the 71st Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 327-329.
- 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.
- Méndez-Tejeda, R. & Rosado-Jiménez, G. A., 2019.** Influence of climatic factors on Sargassum arrivals to the coast of the Dominican Republic. *Journal of Oceanography and Marine Research*, 10(2): 22-32.
- Mercadé, S., 2019.** La forma correcta de proceder con la limpieza de las playas turísticas y el levante del sargazo. Universidad de la Costa, Colombia, 431-449
- Meyer-Reil, L. A. & Köster, M. 2000.** Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin*, 41: 255-263.
- 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*, 43: 60.
- Moreira, A. & Alfonso, G. 2013.** Inusual arribazón de *Sargassum* fluitans (Børgesen) Børgesen en la costa centro-sur de Cuba. *Revista Investigaciones Marinas*, 33(2): 17-20.
- NOAA's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, 2021.** <https://www.aoml.noaa.gov>
- Oxenford, H. A., Cox, S. A., van Tussenbroek, B. I. & Desrochers, A., 2021.** Challenges of Turning the Sargassum Crisis into Gold: Current Constraints and Implications for the Caribbean. *Phycology*, 1: 27-48.
- Oyesiku, O. O. & Egunyomi, A., 2014.** Identification and chemical studies of pelagic masses of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon and *S. fluitans* (Borgesen) Borgesen (brown algae), found offshore in Ondo State, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 13: 1188-1193.
- Pendleton, L., Krowicki, F., Strosser, P. & Hallett-Murdoch, J., 2014.** Assessing the value of marine and coastal ecosystem services in the Sargasso Sea. In: *A Report Prepared for the Sargasso Sea Alliance: Duke Environmental and Energy Economics Working Paper Series (Working Paper EE 14-05)*.
- Peynador, C. & Méndez-Sánchez, F., 2010.** Managing coastal erosion: A management proposal for a littoral cell in Todos Santos Bay, Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 53: 350-357.
- Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B., Jordán-Dahlgren, E., 2016.** 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, E.J. (Eds.), Florecimientos algales nocivos en México. CICESE, Ensenada, México. pp. 352-365.*
- 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: 201-205.
- Rodríguez-Martínez, R. E., Torrescano-Valle, N., Roy, P. D., Cabanillas-Terán, N., García-Sánchez, M., Carrillo, S., Collado-Vides, L., van Tussenbroek, B.I., 2020.** Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *Peer J* 8: e8667.
- Roig-Munar F. X., Martín-Prieto J. Á., Rodríguez-Perea A., Batista Ó. O., 2018.** Environmental Analysis and Classification of Coastal Sandy Systems of the Dominican Republic. In: *Botero C., Cervantes O., Finkl C. (eds) Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies. Coastal Research Library, vol 24. Springer: 59-74.*
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. Á. & Gelabert Ferrer, B., 2019.** Cuantificación de la pérdida de sedimento por la retirada mecánica de bermas (banquettes) de *Posidonia oceanica* en las playas de las islas Baleares: consecuencias geomorfológicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 32 (2): 73-86.
- Roig-Munar, F. X., Olivo Batista, O., Martín-Prieto, J. A., Bala-guer-Huguet, P., Rodríguez-Perea, A., Gelabert, B I & del Toro, P., 2021.** Cuantificación de la pérdida de sedimento por la retirada de depósitos de *Thalassia testudinum* en las playas del Caribe: efectos geomorfológicos. *Nemos*, 11: 28-37.
- Schell, J. M., Goodwin, D. S., Siuda, A., 2015.** Recent Sargassum inundation events in the Caribbean: shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*, 28 (3): 8-10.
- Semarnat, 2021.** Lineamientos Técnicos y de Gestión para la Atención de la Contingencia Ocasional por Sargazo en el Caribe Mexicano y el Golfo de México (2021). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Ejército Nacional, No. 223: 50 pp.
- Serebryakova, A., Aires, T., Viard, F., Serrao, E. A. & Engelen, A. H., 2018.** Summer shifts of bacterial communities associated with the invasive Brown seaweed *Sargassum muticum* are location and tissue dependent. *PLOS ONE*. 13(12): e0206734.
- Simeone, S. & de Falco, G. 2013.** *Posidonia oceanica* banquette removal: sedimentological, geomorphological and ecological implications. *Journal of Coastal Research*, 65: 1045-1050.
- Sissini, M. N., de Barros Barreto, M. B. B., Széchy, M. T. M., de Luce-na, M. B., Oliveira, M. C., Gower, J., Liu, G., de Oliveira Bastos,**

- E., Milstein, D., Gusmão, F. & Martinelli-Filho, J. E., 2017.** The floating *Sargassum* (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean—likely scenarios. *Phycologia*, 56: 321-328.
- Smetacek, V. & Zingone, A., 2013.** Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, 504 (7478), 84-88.
- Stoner, A. W., & Greening, H. S. 1984.** Geographic variation in the macrofaunal associates of pelagic *Sargassum* and some biogeographic implications. *Marine Ecology Progress Series*, 20:185- 192.
- Tedesco, M. Fettweis, X., Mote, T., Wahr, J., Alexander, P., Box, J., & Wouters, B. 2013. Evidence and analysis of 2012.** Greenland records from spaceborne observations, a regional climate model and reanalysis data. *The Cryosphere Discussions*, 7(2): 6015-630.4939-4976.
- Thiel, M. & Gutow, L., 2005.** The ecology of rafting in the marine environment. II. The rafting organisms and community. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 43, 279–418.
- Thiel, M., & Fraser, C. 2016.** The role of floating plants in dispersal of biota across habitats and ecosystems. In E. Olafsson (Ed.), *Marine macrophytes as foundation species*.
- 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. *Mar. Pollut. Bull.*, 122: 272–281.
- Wang M., Hu C., Barnes B. B., Mitchum G., Lapointe B. & Montoya J. P. 2019.** The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, 365: 83-87.
- Wang, M., & Hu, C. 2016.** Mapping and quantifying *Sargassum* distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, 183: 350-367.
- Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B. & Montoya, J. P., 2019.** The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, 365: 83–87.
- Wells, R. J. D., & J. R. Rooker, 2004.** Spatial and temporal patterns of habitat use by fishes associated with *Sargassum* mats in the northwestern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 74: 81-99.
- Williams, A., & Feagin, R. 2010.** *Sargassum* as a natural solution to enhance dune plant growth. *Environmental Management*, 46: 738-747.
- Witherington, B., Hirma, S. & Hardy, R. 2012.** Young sea turtles of the pelagic *S. Sargassum* dominated drift community: habitat use, population density, and threats. *Marine Ecology Progress Series*, 463: 1-22.