ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/317222216

Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015)

Chapter · December 2016

CITATIONS
12

READS
9,632

3 authors, including:

Rosa Rodríguez-Martínez
Universidad Nacional Autónoma de México
45 PUBLICATIONS **503** CITATIONS

SEE PROFILE

Brigitta I. van Tussenbroek
Universidad Nacional Autónoma de México
72 PUBLICATIONS **1,463** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Project Thalassia testudinum population genetics View project

Project ASEAN-Nepal Import/Export View project

All content following this page was uploaded by Rosa Rodríguez-Martínez on 29 May 2017.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014-2015)

Rodríguez-Martínez, Rosa Elisa[1]; van Tussenbroek, Brigitta[1]; Jordán-Dahlgren, Eric[1]

[1] Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Puerto Morelos. Prolongación Avenida Niños Héroes S/N, apartado postal 13, CP 77580. Puerto Morelos, Quintana Roo, México.
rosaer@cmarl.unam.mx

Resumen

Los florecimientos de macroalgas están aumentando a nivel global. La costa del Caribe Mexicano recibió cantidades masivas atípicas de las macroalgas pardas pelágicas *Sargassum fluitans* y *S. natans* desde el verano de 2014 hasta el invierno de 2015. La acumulación y descomposición de algas en playas y aguas litorales afectó los ecosistemas costeros, la salud humana y la industria turística, que es el motor económico local. En el mes pico de acumulación, la costa recibió en promedio 2,360 m^3 de sargazo por km de playa. Se establecieron comités en los cuales participaron instancias gubernamentales, científicas y empresariales. Se elaboraron reglamentos para remover el sargazo de playas y aguas litorales. El gobierno federal asignó 60 millones de pesos para contrarrestar el impacto, y se contrataron maquinaria y 4,404 empleados para remover el sargazo. A pesar de estos esfuerzos, el alto volumen que recaló superó la capacidad de remoción. La remoción de sargazo, además, causó daños al medio ambiente porque las reglas para removerlo, transportarlo y disponer de él no siempre se respetaron y la vigilancia fue insuficiente. La mayor parte del sargazo fue tratado como basura, aunque algunas personas locales establecieron iniciativas privadas para procesar el sargazo como fertilizante complementario. La respuesta para enfrentar el evento fue insuficiente debido a la carencia de un programa robusto de monitoreo que permitiera obtener indicadores estadísticamente confiables para estimar y mitigar el impacto de la afluencia masiva de sargazo para la industria turística, así como para la salud de los ecosistemas y del hombre.

Palabras clave: Florecimiento de macroalgas, impacto ecológico, impacto económico, manejo .

Abstract

Macroalgal blooms are increasing at global level. The Mexican Caribbean coast received atypical massive quantities of the brown pelagic macroalgae *Sargassum fluitans* and *S. natans* from early summer of 2014 to early winter of 2015. During the peak months, the coast received on average 2,360 m^3 km-1 of *Sargassum*. Algal decay on beaches and littoral waters affected coastal ecosystems, human health and the tourist industry which is the motor of the local economy. Committees in which participated government agents, scientists and private industry were established and regulations for the removal of *Sargassum* from beach and coastal waters were elaborated. The federal government assigned 60 million pesos to attend the problem, and employed 4,404 workers and rented machines to remove the algae from the beaches. Despite these efforts, the high volume of beached *Sargassum* surpassed the capacity to remove it. Removal of *Sargassum* also caused environmental problems, because the regulations for its removal, transportation and disposal were not always respected and enforcement was insufficient. Most of the algal bulk was disposed of as garbage, however, small local private initiatives processed the *Sargassum* as complementary fertilizer. The response to face this event was insufficient due to the absence of an robusy monitoring program that would allow the acquirement of statistically reliable indicators to estimate and mitigate the impact of the massive beaching of *Sargassum* to the tourist industry and to ecosystem and human health.

Key words: Macro-algal bloom, ecological impact, economical impact, management .

Introducción

El sargazo pelágico sustenta un ecosistema diverso en el océano abierto, en el que habitan especies como tortugas marinas, peces, invertebrados y aves, y funciona como sitios de reproducción y crianza para muchos organismos, algunos de importancia comercial (Pendleton *et al*., 2014). Históricamente, la distribución del sargazo pelágico, compuesto de las especies *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans*, se ha centrado en el Mar de los Sargazos, en el medio del Giro Subtropical del Atlántico Norte (Gower *et al*., 2013). Se considera que las corrientes dominantes de este giro crean un vórtice que acumula grandes cantidades de sargazo (Maurer *et al*., 2015). Ocasionalmente, las masas de sargazo flotan a través de los pasos que hay al norte del Caribe (Windward, Mona y Anegada) y migran hacia el oeste (Frazier *et al*., 2013), y algunas algas, en cantidad menor, llegan a las islas localizadas al este y oeste del Caribe y a la parte este de la península de Yucatán. En el verano de 2011, sin embargo, ocurrió una afluencia masiva de sargazo pelágico en el Caribe oriental, desde Trinidad hasta la República Dominicana, y en la costa oeste de África, desde Sierra Leona hasta Ghana (Smetacek y Zingone, 2013). A nivel regional, la biomasa de sargazo registrada durante los meses de mayor afluencia fue 200 veces mayor a la biomasa promedio durante los ocho años anteriores (Gower *et al*., 2013). En 2012, se reportó una llegada atípica de sargazo pelágico a la costa sur de Cuba (Moreira y Alfonso, 2013). A partir de mediados de 2014, muchas otras islas y países del Caribe comenzaron a ser afectados (Gavio *et al*., 2015). En el caso del Caribe Mexicano, la afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa inició a principios del verano de 2014 y terminó en diciembre de 2015.

Observaciones satelitales de las masas de sargazo pelágico (Gower *et al*., 2013), en conjunto con modelos de información retrospectiva de sitios de arribazón de sargazo (Johnson *et al*., 2013), sugieren que una área localizada al norte del estuario del río Amazonas, frente a la costa

brasileña, fue el posible punto de origen de las afluencias del sargazo al Caribe desde 2011. Se piensa que esta área fue colonizada por sargazo proveniente de la Región de Recirculación del Atlántico Norte. Schell *et al.* (2015) encontraron que la morfología de la especie dominante difería entre el Caribe Oriental, la corriente de las Antillas y el sur del Mar de los Sargazos. Los autores también encontraron que, en el otoño de 2014, la concentración media de sargazo en el Caribe era diez veces más grande que aquella registrada durante el evento de 2011-2012, y 300 veces mayor que la de cualquier otro otoño en las últimas dos décadas; mientras en el Mar de los Sargazos no se registraron diferencias significativas entre ambos períodos. Con base en estas observaciones, los autores sugirieron que el sargazo de las afluencias masivas del Caribe no era proveniente del Mar de los Sargazos. En contraste con el Mar de Sargazos, que es oligotrófico (Morel *et al.*, 2010), la Región de Recirculación del Atlántico Norte y la cuenca de Amazonas contienen muchos nutrientes (nitrógeno y fósforo). La gran cantidad de sargazo pelágico en el Caribe se ha atribuido al alto contenido de nutrientes de esta agua, y posiblemente la eutrofización de aguas costeras caribeñas también aporto al incremento de biomasa algal. En aguas enriquecidas con nutrientes, tanto *S. natans* como *S. fluitans* duplican su biomasa en aproximadamente 11 días, en comparación con ≥ 50 días en aguas oceánicas del Mar de los Sargazos (Lapointe *et al.*, 2014). Un aumento en la temperatura de la superficie del océano también podría haber jugado un papel en el aumento de sargazo, dado que en 2015 se registraron las temperaturas más altas a nivel global en los últimos 135 años (NOAA, 2016).

La afluencia masiva inusual de sargazo al Caribe en los últimos años podría considerarse un florecimiento algal nocivo (FAN). Si bien el término se refiere comúnmente a eventos de microalgas (Hallegraeff, 1993; Anderson *et al.*, 2002), las macroalgas también pueden presentar florecimientos con consecuencias nocivas. Recientemente algunos autores han incluidos las macroalgas en esta temática (Kudela *et al.*, 2015). Los florecimientos de micro y macroalgas difieren principalmente en que los de macroalgas no tienen un efecto nocivo directo, tienen una gama de efectos ecológicos más amplio y suelen durar más tiempo que los de microalgas (años o décadas; Valiela *et al.*, 1997). En forma similar a lo que ocurre con los florecimientos microalgales (Anderson *et al.*, 2002), los florecimientos de macroalgas están relacionados con un mayor aporte de nutrientes de origen antropogénico (Valiela *et al.*, 1997; Ye *et al.*, 2011) y están aumentando a nivel mundial (Smetacek y Zingone, 2013). Aunque los florecimientos pueden ser de macroalgas verdes, rojas o pardas, aquellos formados por las algas verdes (mareas verdes) son los más notorios (Ye *et al.*, 2011). El florecimiento de macroalgas más grande del mundo es el de lechuga del mar (*Ulva*) en el Mar Amarillo, en China, que abarcó un área de entre 13 mil y 30 mil km^2 en los años 2008 y 2009. Esta marea verde tuvo enormes repercusiones económicas y ecológicas; además de impactar el ecosistema, afectó a las industrias acuícola y turística. Su remoción generó costos considerables, ya que en los lugares más afectados se llegaron a recoger aproximadamente 10^6 toneladas de peso húmedo de biomasa algal, y las pérdidas económicas estimadas fueron cercanas a los 86 millones de euros (Ye *et al.*, 2011). Muchos florecimientos de macroalgas han terminado de manera repentina e inesperada. Los mecanismos de estos colapsos repentinos no son claros; sin embargo, se cree que el sombreado por fitoplancton puede jugar un papel importante, ya que las proliferaciones de macroalgas tienden a ser bentónicas. Por el contrario, el sargazo que llegó en forma masiva al Caribe en los últimos años es pelágico y se torna perjudicial únicamente cuando llegan a la costa de manera masiva. Pequeñas cantidades de materia algal en la playa, puede ser incluso beneficioso como hábitat para invertebrados, para la red trófica y para estabilizar playas y dunas (Colombini *et al.*, 2003).

En este trabajo describimos los problemas ecológicos y ambientales ocasionados por el arribazón masivo de sargazo pelágico a las playas del Caribe Mexicano y las acciones para reducir el efecto de este fenómeno que fueron tomadas por las autoridades, la industria privada y la sociedad civil. Además, proponemos acciones para mitigar el impacto de la afluencia masiva de sargazo en caso de que esto se convirtiera en un evento recurrente.

Metodología

Área de estudio

La costa caribeña mexicano del estado de Quintana Roo se extiende en total 865 km, incluyendo las costas continentales e insulares (INEGI, 1991). El clima en la región es típico caribeño, con una temporada de lluvias de mayo a octubre y una temporada de secas de noviembre a abril. La temperatura mensual promedio del aire es 20.1 - 30.4°C, y de la superficie del mar es 25.1 - 29.9°C. La precipitación pluvial promedio varía entre 21.1 a 161.4 mm (Rodríguez-Martínez *et al*., 2010). Las aguas costeras son oligotróficas, aunque en algunas áreas se han registrado aumentos graduales en la carga de nutrientes por medio de las descargas del acuífero hacia el mar (Carruthers *et al*., 2005; Baker *et al*., 2010; Metcalfe *et al*., 2011; Baker *et al*., 2013). Hasta 2015, el estado de Quintana Roo contaba con 10 municipios (Fig. 1).

La economía del estado de Quintana Roo se basa en la industria turística que contribuye considerablemente al producto interno bruto del país. En 2015, el estado tenía 90,048 cuartos de hotel y recibió 15 millones de visitantes (SEDETUR, 2016). La pesca es la segunda actividad económica en importancia para el estado, siendo la langosta y el pescado los principales productos.

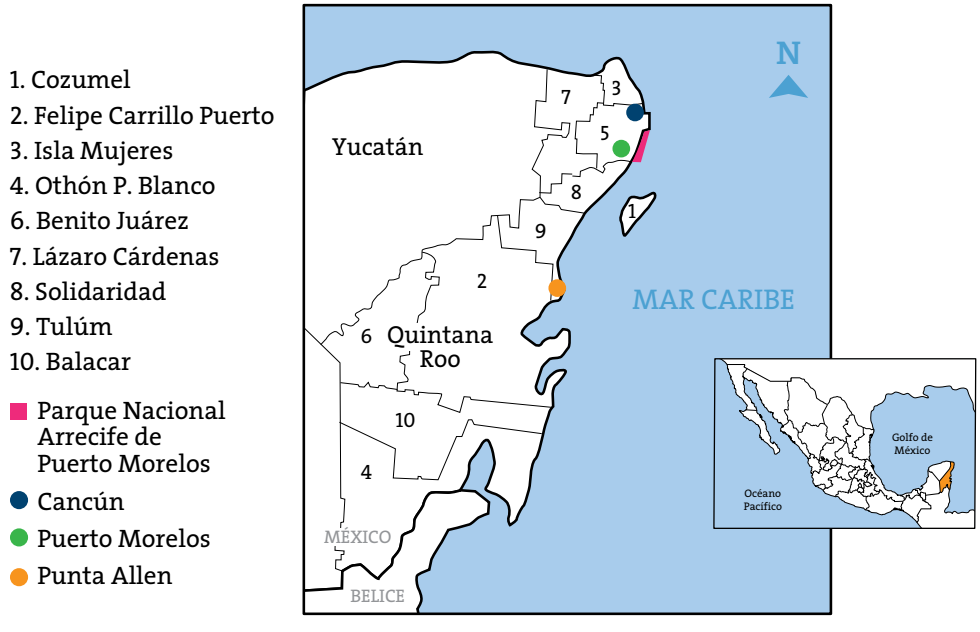

Figura 1. Mapa del estado de Quintana Roo señalando los municipios existentes hasta 2015 y las localidades mencionadas en el texto.

Obtención de datos

Los datos del volumen de sargazo húmedo removido de las playas del Caribe Mexicano presentados en este estudio, fueron otorgados por la Secretaría de Medio Ambiente del estado de Quintana Roo (SEMA) y por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). La SEMA colectó los datos a través de los responsables de la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) de cinco municipios, los cuales en conjunto atendieron un total de 74.6 km de playa (Tabla 1), que corresponde a menos de 10% de la línea de costa en Quintana Roo. Para remover el sargazo se contrataron 4,404 trabajadores, de los cuales más de la mitad trabajaron en el municipio de Benito Juárez (Tabla 1), donde se encuentra el destino turístico Cancún (Fig. 1). Se prestó atención especial a las playas más visitadas por turistas, en particular a las certificadas con "Bandera Azul" por la Fundación para la Educación Ambiental. La CONANP recopiló los datos de colecta mensualmente frente a seis hoteles colindantes con el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, desde mediados de agosto de 2015 hasta febrero de 2016. Cabe mencionar que las bases de datos recopiladas por ambas autoridades sólo incluyen datos para algunos días del mes y que no se controló la calidad de la toma de datos. El resto de la información que presentamos se basa en las experiencias adquiridas al formar parte de la Comisión Técnica-Científica del estado de Quintana Roo, creada por la SEMA en julio de 2015 para atender los problemas originados por el arribazón masiva de sargazo.

Tabla 1. Volumen de sargazo pelágico removido de playas seleccionadas en cinco municipios de Quintana Roo, México, en agosto de 2015. Fuente: SEMA.

Municipio	Playa limpiada (km)	Días de limpieza	Empleados	Sargazo removido	
				Total (m^3)	m^3/km día (Promedio e intervalo)
Benito Juárez	36.4	12	2800	19382	208.6 (14-333)
Solidaridad	11.0	6	269	6503	184.2 (27-523)
Cozumel	11.2	2	440	1484	132.3 (130-135)
Tulum	12.5	7	670	37859	261.7 (222-312)
Othón P. Blanco	3.5	3	225	6125	1456.7 (582-3200)
Total	74.6		4404	71353	318.9 (14-3200)

Resultados y discusión

Problemas ocasionados por la llegada masiva de sargazo

La afluencia masiva de sargazo al Caribe Mexicano tuvo impactos económicos y ecológicos similares a las descritas para otros florecimientos de micro y macroalgas (Anderson *et al*., 2002, Valiela *et al*., 1997; Ye *et al*., 2011). Afectó a la industria turística y generó costos considerables para la limpieza de playas. También afectó a los ecosistemas costeros, causando mortalidad de fauna y mortandad de pastos marinos (van Tussenbroek, datos no publicados).

En el verano de 2014, varias playas a lo largo de la costa Caribe de México comenzaron a recibir cantidades atípicamente grandes de sargazo pelágico. Las algas llegaban a la costa como grandes masas irregulares flotantes, como líneas largas o como pequeñas masas de unos cuantos metros cuadrados. Las algas eran arrojadas a la playa por las olas y el viento y morían, creando una masa en descomposición. Los hoteles, restaurantes, vecinos y autoridades locales removían el sargazo de la playa con sus propios medios. En algunos lugares (p.e. Playa del Carmen) inicialmente se enterraban las algas para crear dunas artificiales pero, después de algunas semanas, ya no había espacio disponible para enterrarlas y las masas algales fueron depositadas en la selva, el manglar, los basureros y los camellones. En un principio, el sargazo se removía de la playa manualmente, pero cuando su volumen aumentó se comenzó a utilizar maquinaria. El uso de maquinaria resultó en la compactación de arena, la destrucción de nidos y crías de tortugas marinas y en la erosión de playas, ya que cerca de 60% del volumen removido por las máquinas era arena.

Los datos aportados por la SEMA indican que durante el tiempo de mayor afluencia de sargazo, en agosto de 2015, el volumen total de sargazo removido en playas seleccionadas de cinco municipios de Quintana Roo fue de 71,353 m^3, con valores entre 1,484 m^3 en Cozumel y 37,859 m^3 en Tulum (Tabla 1). En promedio, se removieron 318.9 m^3 de sargazo por cada km de playa en Quintana Roo en agosto de 2015 (Tabla 1).

Los datos aportados por seis hoteles dentro del polígono del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos indican que la afluencia de sargazo (estandarizada a 1 km de playa) alcanzó el máximo valor (19,603 m^3/km) en septiembre de 2015, y posteriormente disminuyó hasta llegar a 681 m^3/km en febrero de 2016 (Fig. 2). Los hoteles se esforzaban por mantener sus playas libres de sargazo por lo que estos valores pueden utilizarse como una medida indirecta de la afluencia de sargazo a esta área para el período agosto 2015 a febrero del 2016.

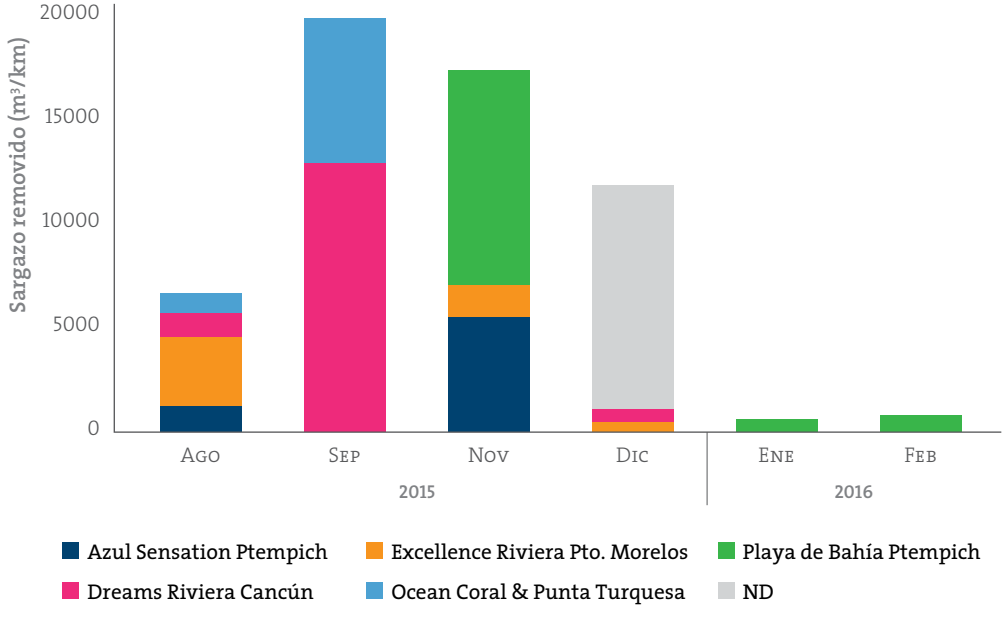

Figura 2. Volumen de sargazo removido mensualmente en la playa de seis hoteles colindantes con el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, de agosto 2015 a febrero 2016. Los datos están estandarizados a un kilómetro de playa. Los datos de agosto de 2015 corresponden solamente a las últimas dos semanas del mes. Los datos de los hoteles Ocean Coral and Punta Turquesa fueron agrupados. ND Hotel no determinado. Fuente: CONANP.

Sin embargo, en más de 90% de las playas de Quintana Roo el sargazo no se removió (Fig. 3). Este sargazo en proceso de descomposición produjo olores fétidos, presumiblemente debido a la producción de ácido sulfhídrico (H_2S) y otros compuestos orgánicos. El mal olor evitó que los turistas y locales utilizaran las playas y consumieran en los restaurantes cercanos a éstas. Se publicaron varias notas en la prensa nacional e internacional anunciando el mal aspecto y olor de las masas en descomposición, aconsejando al turista de evitar este destino para vacacionar. Los residentes de algunas comunidades cercanas (<200 m) a la playa (p.e. Punta Allen,

Puerto Morelos; Fig. 1), así como el personal que trabajó en la limpieza de playas, se quejaron de experimentar dolores de cabeza, nausea y problemas respiratorios, presumiblemente debido a la inhalación de H_2S. Exposición a niveles bajos pero crónicos de H_2S (100-1000 ppb) induce problemas del sistema nervioso, respiratorio, muscular y circulatorio, tal como se estableció en encuestas a personas en áreas industriales (Legator *et al.*, 2001). Lamentablemente no se realizaron mediciones de los niveles de H_2S en la atmosfera durante la afluencia de sargazo. Además, este gas es altamente corrosivo y ocasionó la descompostura de aparatos electrónicos y obscurecimiento de objetos de metal en las casas cercanas a la playa.

A mediados de 2015, cuando la playa se encontraba saturada de sargazo en descomposición, continuó llegando sargazo "fresco" a la línea de costa. En este periodo la acumulación del sargazo fue tal, que el material en descomposición provocó que el agua de mar cercana a las costas se tornara de color café. En algunas zonas, se observaron animales muertos entremezclados con el sargazo en descomposición, incluyendo peces, tortugas, pepinos de mar, poliquetos y langostas, los cuales se considera murieron por anoxia. En el fondo marino, debajo del agua color café, se observó mortandad de pastos marinos, posiblemente debido a la reducción de luz, a la acumulación de materia orgánica y al crecimiento prolífico de epífitas. En algunas playas, durante periodos de alto oleaje (durante tormentas) el sargazo en descomposición en la playa fue regresado al mar, aumentando la coloración café del agua por decenas de metros durante varios días.

Hacia finales de 2015, la cantidad de sargazo que llegaba a las playas empezó a disminuir (Figs. 2 y 3) y hacia mediados de 2016 solamente se reportaron arribazones de masas de sargazo en algunas playas de Cancún y Playa del Carmen. Las playas que no se habían limpiado eventualmente quedaron libres de sargazo por la acción del viento y el oleaje, principalmente durante tormentas (Fig. 3).

La llegada masiva de sargazo también pudiera haber provocado eutrofización. Durante los meses pico (agosto a diciembre de 2015), entre 6.6 y 9.6 x 10^3 m^3/km de sargazo arribaron mensualmente a la playa de Puerto Morelos (Fig. 2). Considerando que en un metro cúbico de sargazo pesa 84 kg seco (Van Tussenbroek, datos no-publicados) y que hay aproximadamente 16.9 mg de nitrógeno por cada gramo seco de sargazo (Hanson, 1977), se estima que la cantidad anual de nitrógeno (N) que ingresó al mar por kilómetro de costa fue entre 9.3 y 27.8 x 10^3 kg. La aportación anual de nitrógeno que ingresa al mar proveniente del acuífero de la península de Yucatán se ha estimado en 2.4 x 10^3 kg N por kilómetro de costa (Hernández-Terrones *et al.*, 2011). Por lo tanto, durante los meses de mayor afluencia de sargazo a la costa de Quintana Roo, la afluencia de nitrógeno al mar fue entre 3.8 y 11.6 veces mayor que la que llega proveniente de tierra durante un año. No todo el nitrógeno aportado por el sargazo permanecerá en el sistema y será remineralizado; sin embargo, esta sencilla estimación indica que la llegada masiva de sargazo puede contribuir de manera importante a la eutrofización de ambientes oligotróficos. De esta manera podrá contribuir al deterioro de los arrecifes coralinos que soportan una alta biodiversidad y tienen gran importancia para la protección costera, soportan pesca comercial y de subsistencia, y son contribuyentes vitales a la economía del estado, basada en el turismo.

Figura 3. Cambio en la abundancia de sargazo en una playa de Puerto Morelos, Quintana Roo, México, entre octubre de 2014 y abril de 2016.

Las acciones

En julio de 2015 se creó un grupo nacional para compartir conocimiento sobre el evento atípico de la llegada masiva de sargazo y discutir sobre acciones para reducir su impacto ecológico y económico. El grupo incluyó a científicos de varias universidades (Universidad Nacional

Autónoma de México, Instituto Politécnico Nacional, El Colegio de la Frontera Sur), institutos (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático), instancias gubernamentales (secretarías de Marina, de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de Comunicaciones y Transportes, de Medio Ambiente del estado de Quintana Roo, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente) y comisiones (de Áreas Naturales Protegidas, Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Nacional de Acuacultura y Pesca). En Quintana Roo se formó una comisión con representantes de los sectores antes mencionados, pero a nivel estatal. Esta comisión analizó propuestas sobre tecnologías para contener, limpiar, transportar, disponer y usar el sargazo, y revisó propuestas de reglamentos. La Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT, elaboró dos reglamentos: uno para remover el sargazo de la orilla del mar y otro de la playa. En las áreas naturales protegidas se prohibió el uso de maquinara para remover el sargazo de las playas; sin embargo, dado que la remoción manual era imposible debido al alto volumen del sargazo, la regla no fue respetada, resultando en la erosión y compactación de varias playas, con consecuencias nocivas para la anidación de tortugas. La autoridad también asignó sitios dentro de los diferentes municipios para la disposición final del sargazo. Desafortunadamente, la falta de vigilancia resultó en que el sargazo se depositara en muchas ocasiones en otros sitios.

El sargazo fue utilizado como fertilizante de jardines y campos de golf por algunas compañías pequeñas y hoteles. Las algas marinas por lo general no contienen nitrógeno y fósforo en cantidades suficientes como para ser usadas como fertilizantes, pero contienen minerales traza y hormonas que estimulan el crecimiento, florescencia y germinación de las semillas en plantas, e incrementan la resistencia de éstas a las enfermedades (Zodape, 2001). Aunque el sargazo, como todas las algas cafés, contiene alginatos como constituyentes de la pared celular, no está presente en cantidad, ni en calidad, suficiente para su extracción comercial para ser utilizados como estabilizadores o emulsificadores de alimentos y de la industria textil, aunque puede servir para remover metales pesados tóxicos de aguas contaminadas (Davis *et al*., 2003). El sargazo también tiene usos potenciales para elaborar suplementos alimenticios para ganado, caballos, ovejas y posiblemente el humano (Holdt y Kraan, 2001). En gran volumen, el sargazo también puede usarse para producir biogás, como metano (Yokoyama *et al*., 2007) y podría servir para la industria bioquímica. En todos estos casos, sin embargo, el sargazo tendría que ser colectado antes de mezclarse con arena.

En un esfuerzo para desarrollar una estrategia de manejo integral de sargazo en el estado de Quintana Roo, el gobierno federal financió a una organización no gubernamental local (Centro de Innovación e Investigación para el Desarrollo Sustentable A. C.) con quince millones de pesos para desarrollar un programa piloto que sería implementado dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. El programa incluye la construcción e instalación de una barrera de tres kilómetros para impedir que el sargazo llegue a la playa, la construcción de dos catamaranes, con una pala al frente, con capacidad para remover 3.5 y 10 m^3 de sargazo respectivamente, la compra de dos bandas para transportar el alga de la playa a camiones y un tractor que arrastra una máquina para remover el sargazo que no haya sido retenido por las barreras y alcanzara a llegar a la playa. El estudio piloto, sin embargo, no ha sido implementado porque, para cuando el equipo se compró, la afluencia masiva de sargazo se detuvo.

Conclusión

Se desconoce si el arribazón masivo de sargazo al Caribe Oriental en 2014-2015 fue un evento único o si se volverá frecuente. En caso de que esto último ocurra será necesario elaborar reglamentos, programas de investigación, manejo y buscar alternativas para su uso. Entre las acciones inmediatas se recomienda: 1) Los reglamentos deben considerar remover el sargazo del mar preferentemente antes que recale en las playas, respetando la vida silvestre; 2) regular la transportación y el destino final del sargazo y contar con una vigilancia efectiva; 3) establecer programas de monitoreo y bases de datos en línea, para cuantificar el sargazo que llega a diferentes localidades en el tiempo, ya que esta información es indispensable para estimar el riesgo a la salud humana y de los ecosistemas costeros, a la economía de las comunidades a lo largo de la costa y para determinar la mejor forma de asignar los recursos económicos y humanos que permitan un respuesta más rápida y efectiva; 4) desarrollar una campaña de difusión para informar a los diferentes sectores de la industria turística y al público en general, sobre el problema y las acciones que se tomen, como el folleto describiendo los hechos asociados con la afluencia de sargazo elaborado por Doyle y Franks (2015), y 5) crear un fondo de emergencia para responder de manera rápida y efectiva a este tipo de eventos.

Sin embargo, conseguir fondos para realizar estas acciones o proyectos será un reto considerando que las afluencias masivas a la fecha son impredecibles. Por esta razón, urge obtener información adecuada para entender y cuantificar el fenómeno. Los estudios científicos que estudian el origen y las causas de la llegada masiva de sargazo al Caribe deben ser reforzados a fin de permitir a las autoridades locales y a otras instituciones prepararse en el caso que sus costas se vean amenazadas. Además, se deben realizar estudios científicos sobre el efecto del material en descomposición sobre los ecosistemas costeros y la salud humana. También se requieren estudios técnicos para encontrar las mejores prácticas para remover el sargazo de las playas y del mar. El procesamiento del sargazo como fertilizante, suplemento alimenticio, producción de metano, bioplásticos o para otros usos potenciales, también merece ser investigado. De esta manera se mitigará el impacto ambiental al no deshacerse de las masas en descomposición en cualquier depósito o lugar disponible. Además, se podrá cambiar la opinión pública respecto al sargazo, considerándolo como un recurso económico cuando llega las playas, y un recurso ecológico cuando flota en los mares abiertos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a la Secretaría de Medio Ambiente de Quintana Roo y a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por aportarnos los datos sobre el volumen de sargazo removido de las playas, especialmente a J. L. Funes Izaguirre, R. Muñoz Berzunza, M. C. García Rivas y R. Gómez Lozano. El apoyo de María Guadalupe Barba Santos, Edgar Escalante Mancera y Alejandro Bravo es muy apreciado.

Literatura citada

Anderson, D. M., Glibert, P. M. & Burkholder, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4), 704-726.

Baker, D. M., Jordán-Dahlgren, E., Maldonado, M. A. & Harvell, C. D. (2010). Sea fan corals provide a stable isotope baseline for assessing sewage pollution in the Mexican Caribbean. *Limnology and Oceanography*, 55(5), 2139-2149.

Baker, D. M., Rodríguez-Martínez, R. E. & Fogel, M. L. (2013). Tourism's nitrogen footprint on a Mesoamerican coral reef. *Coral Reefs*, 32(3), 691-699.

Carruthers, T. J. B., van Tussenbroek, B. I. & Dennison, W. C. (2005). Influence of submarine springs and wastewater on nutrient dynamics of Caribbean seagrass meadows. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 64(2-3), 191-199.

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

Davis, T. A., Volesky, B. & Mucci, A. (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research*, 37(18), 4311-4330.

Doyle, E. & Franks, J. (2015). Sargassum fact sheet. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Retrieved from http://www.gcfi.org/Publications/GCFISargassumFactSheet.pdf

Frazier, J., Webster, R., Linton, T. & Hill, B. N. (2013). The use of satellite imagery in the monitoring and forecasting of Sargassum seaweed in the Caribbean Phase II of the Sargassum Early Advisory System. In: AGU Fall Meeting, San Francisco, Calif., Abstracts Vol. 1, 0609.

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.

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

Hallegraeff, G. M. (1993). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, 32(2), 79-99.

Hanson, R.B. (1977). Pelagic Sargassum community metabolism: Carbon and nitrogen. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 29(2), 107-118.

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

Holdt, S. L. & Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 543-597.

INEGI (1991). Datos básicos de la geografía de México (2a ed.). México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Johnson, D. R., Ko, D. S., Franks, J. S., Moreno, P. & Sánchez-Rubio, G. (2013). The Sargassum invasion of the Eastern Caribbean and dynamics of the Equatorial North Atlantic. pp. 102-103. In: Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, November 5-9, 2012. Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Santa Marta, Colombia.

Kudela, R. M., Berdalet, E., Bernard, S., Burford, M., Fernand, L., Lu, S., Roy, S., Tester, P., Usup, G., Magnien, R., Anderson, D. M., Cembella, A., Chinain, M., Hallegraeff, G., Reguera, B., Zingone, A., Enevoldsen, H. & Urban, S. (2015). Harmful Algal Blooms. A Scientific Summary for Policy Makers. IOC/UNESCO, Paris, IOC/INF-1320.

Lapointe, B. E., West, L. E., Sutton, T. T. & Hu, C. (2014). Ryther revisited: nutrient excretions by fishes enhance productivity of pelagic Sargassum in the western North Atlantic Ocean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 458, 46-56.

Legator, M. S., Singleton, C. R., Morris, D. L. & Philips, D. L. (2001). Health effects from chronic low-level exposure to hydrogen sulfide. Archives of Environmental Health: An International Journal, 56, 123-131.

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.

Metcalfe, C. D., Beddows, P. A., Bouchot, G. G., Metcalfe, T. L., Li, H. & Van Lavieren, H. (2011). Contaminants in the coastal karst aquifer system along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Environmental Pollution*, 159(4), 991-997.

Moreira, A. y Alfonso, G. (2013). Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen en la costa centro-sur de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 33(2), 17-20.

Morel, A., Claustre, H. & Gentili, B. (2010). The most oligotrophic subtropical zones of the global ocean: similarities and differences in terms of Chlorophyll and yellow substance. *Biogeosciences*, 7, 3139-3151.

NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Analysis for Annual 2015. (2016). Retrieved from: http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513.

Pendleton, L., Krowicki, F., Strosser, P. & Hallett-Murdoch, J. (2014). Assessing the economic contribution of marine and coastal ecosystem services in the Sargasso Sea. NI R 14-05, Durham, N.C.: Duke University.

Rodríguez-Martínez, R.E., Ruíz-Rentería, F., van Tussenbroek, B., Barba-Santos, G., Escalante-Mancera, E., Jordán-Garza, G. & Jordán-Dahlgren, E. (2010). Environmental state and tendencies of the Puerto Morelos CARICOMP site, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Suppl. 3), 23-43.

Schell, J. M., Goodwin, D. S. & Siuda, A. N. S. (2015). Recent Sargassum inundation events in the Caribbean: Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography*, 28(3), 8-10.

Smetacek, V. & Zingone, A. (2013). Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, 504,84-88.

SEDETUR (2016). Indicadores Turísticos enero-diciembre 2015. Dirección de Planeación y Desarrollo. Gobierno del Estado de Quintana Roo. Recuperado de: http://sedetur.qroo.gob.mx.

Valiela, I., McClelland, J., Hauxwell, J., Behr, P. J., Hersh, D. & Foreman, K. (1997). Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography*, 42(5), 1105-1118.

Ye, N. H., Zhang, X. W., Mao, Y. Z., Liang, C. W., Xu, D., Zou, J., Zhuang, Z. & Wang, Q. Y. (2011). 'Green tides' are overwhelming the coastline of our blue planet: taking the world's largest example. *Ecology Research*, 26(3), 477-485.

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

Zodape, S. T. (2001). Seaweeds as a biofertilizer. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 60(5), 378-382.

View publication stats