

La descomposición del sargazo en la laguna arrecifal y su biota

La llegada de sargazo a las costas del Caribe mexicano ha cambiado la típica transparencia y el color azul turquesa del agua. Asimismo, en pocos años ha promovido la muerte de la flora y la fauna en los ecosistemas arrecifales de aguas poco profundas. En particular, estos efectos negativos son más notorios en el sur de Quintana Roo, donde el sargazo continúa acumulándose y descomponiéndose desde 2014.

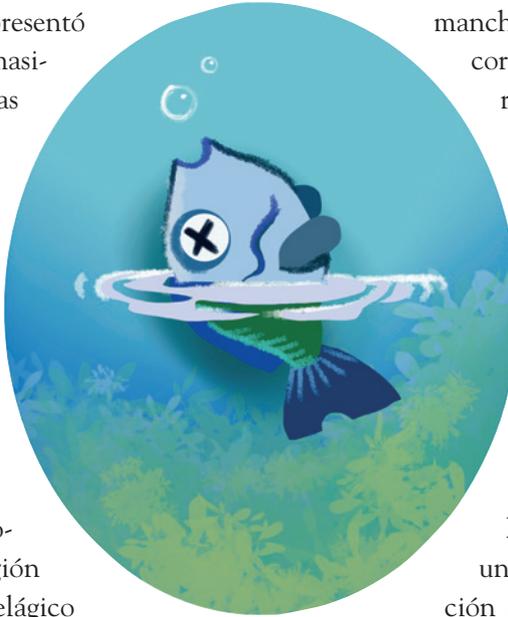
Descripción del fenómeno emergente del sargazo

Las primeras observaciones satelitales de masas flotantes de sargazo con importantes dimensiones se registraron en el Golfo de México en 2005, con base en el índice máximo de clorofila a partir de estimaciones de imágenes del sensor MERIS (por el nombre en inglés de *medium resolution imaging spectrometer*). Jim Gower y colaboradores (2006) estimaron una biomasa de 25 g/m² de sargazo que estaba flotando en la parte occidental del Golfo de México, lo cual representa un orden de magnitud mayor a las estimaciones previas. En un estudio más extenso (Gower y cols., 2013), describieron el ciclo estacional y la distribución espacial de estas macroalgas en el Golfo de México y el Atlántico Noroccidental entre 2002 y 2008. Según identificaron, el Golfo de México Noroccidental es la zona de crecimiento del sargazo entre marzo y junio de cada año; posteriormente, las corrientes lo transportan al Atlántico Noroccidental en julio y agosto. La máxima biomasa estimada fue del orden de 3, 4 y 6 millones de toneladas de sargazo en el Golfo de México en 2003, 2004 y 2005, respectivamente. Por otra parte, la biomasa en el Atlántico Noroccidental fue de 2 a 3.5 millones de toneladas –con una tendencia de aumento– de 2002 a 2007; asimismo, se registró la persistencia de importantes masas de sargazo desde marzo hasta agosto de 2008. Hasta esa fecha el área de concentración del sargazo pelágico se localizaba en el Golfo de México y el Atlántico Noroccidental, en el mar de los Sargazos.





Más adelante, en 2011 se presentó un evento inusual de arribo masivo de sargazo pelágico a las costas del Caribe Oriental, particularmente en las Antillas Menores, así como en las costas de África Occidental. Las masas de sargazo flotante, identificadas como *Sargassum natans*, fueron detectadas por primera vez mar adentro fuera de las costas de Brasil en julio de ese año. El origen de dicho evento se asoció a una nueva y diferente región de acumulación de sargazo pelágico ubicada al norte de la desembocadura del río Amazonas y que se extiende hasta las costas de África Occidental de julio a septiembre. La biomasa total estimada en el periodo de máxima proliferación para esta nueva región fue de 15 millones de toneladas, de acuerdo con el índice máximo de clorofila derivado de imágenes del sensor MERIS.



manchas fueron transportadas por las corrientes hacia las Antillas Menores en 2011 y hacia todo el Caribe en 2014 y 2015, en los meses de mayo a julio. Actualmente se reconoce la existencia de un cinturón de sargazo pelágico que se extiende desde el Golfo de Guinea en África Occidental, el Atlántico Central Tropical, la costa nororiental de Sudamérica, el mar Caribe, hasta el Golfo de México, en donde se presenta un patrón recurrente de proliferación masiva de sargazo pelágico que

inició en 2011 y se ha mantenido hasta 2019. Los máximos de cobertura y biomasa se han registrado en 2015 y 2018, con más de 10 y hasta 20 millones de toneladas en los meses de junio y julio en los respectivos años (Wang y cols., 2019). Otras estimaciones adicionales a partir de imágenes satelitales del sensor OLCI (por las siglas en inglés de *ocean and land colour instrument*), desde el satélite *Sentinel-3A*, permitieron describir el ciclo anual de 2018 y la consistente expansión del florecimiento de sargazo pelágico.

Un segundo evento de arribo masivo de sargazo ocurrió entre 2014 y 2015, el cual afectó prácticamente a toda la cuenca del Caribe. Con base en observaciones realizadas en el sur del mar de los Sargazos, la corriente de las Antillas, el Caribe Oriental y el Atlántico Tropical Occidental, se descartó al mar de los Sargazos como el origen de esta proliferación, lo cual apoyó a la evidencia de la existencia de una nueva acumulación de sargazo en el Atlántico Tropical.

Un análisis temporal de los años 2000 a 2015 mediante imágenes satelitales del sensor MODIS (por el nombre en inglés de *moderate resolution imaging spectroradiometer*), y con base en el índice alternativo de algas flotantes, describió con precisión la proliferación del sargazo pelágico en el Atlántico Central Tropical. En el periodo de 2000 a 2008, se registró un pequeño número de manchas de sargazo fuera de la desembocadura del Amazonas, con movimiento hacia el norte. A partir de 2009, las manchas de sargazo detectadas empezaron a ser más grandes, hasta alcanzar un máximo de cobertura de 956 km². Estas

Causas y origen del fenómeno

Las causas de este extensivo florecimiento en el Atlántico Norte Tropical aún no han sido determinadas de manera inequívoca. Se ha planteado que una combinación de factores climáticos e hidrológicos, como las **anomalías positivas** en la temperatura del mar superficial en 2010 e inicios de 2011, fue lo que indujo las condiciones favorables para el florecimiento del sargazo pelágico en la región de recirculación norequatorial, y estos florecimientos fueron alimentados posteriormente por las anomalías positivas en la concentración de nutrientes a través de las descargas del río Amazonas (Djakouré y cols., 2017).

Respecto al origen, con base en la literatura reciente, se concluye que los eventos de arribo masivo

Anomalías positivas

Indica que la temperatura observada era más caliente que el valor de referencia.

vo del sargazo flotante a las costas del Caribe y del Atlántico Norte Tropical en general, y en particular a las costas de Quintana Roo en México, son resultado de la proliferación de sargazo pelágico en regiones oceánicas frente de las costas de África y de Sudamérica.

■ **Problemática de la acumulación de sargazo sobre la costa**

■ Independientemente del origen de este fenómeno emergente de escala oceánica, la llegada masiva de sargazo a las costas de África Occidental y del Caribe está produciendo múltiples efectos negativos de carácter social, económico y ambiental como resultado del proceso de descomposición de estas macroalgas sobre la costa. Las masas flotantes de sargazo dispersadas por la acción de los vientos y las corrientes se quedan varadas en la costa y terminan su ciclo de vida descomponiéndose ahí. Dada la composición química del sargazo, durante este proceso se libera azufre, el cual, por una reacción exotérmica en el agua, produce ácido sulfhídrico que es liberado tanto en el agua como en la atmósfera. Los efectos inmediatos en la zona de descomposición incluyen el aumento de la temperatura, el agotamiento del oxígeno, el descenso del potencial de hidrógeno (pH), la disminución del potencial de reducción en agua y la liberación de nutrientes hacia las lagunas arrecifales, con el consiguiente cambio drástico de color del agua de transparente a marrón, así como el grave impacto a la estructura y función de la biota marina (Van Tussenbroek y cols., 2017).

Las características de este fenómeno emergente hacen que su manejo sea altamente costoso. Estas macroalgas de vida libre tienen una dispersión superficial por el viento y las corrientes, así como una elevada tasa de producción, por lo que arriban a la costa en grandes volúmenes. Lo



anterior ha prevenido que se encuentre una única estrategia de manejo para evitar su acumulación y descomposición. Por ejemplo, la medida de recolección en la costa y disposición *ex situ* implementada en Quintana Roo se ha limitado a las principales zonas turísticas del norte del estado, pero en la mayor parte de la costa, el sargazo que llega se acumula, se descompone y produce profundos efectos negativos sobre los ecosistemas costeros.

El objetivo de esta contribución es recopilar información gráfica y cuantitativa obtenida en el sur de Quintana Roo entre 2015 y 2018 para evidenciar los impactos negativos de la acumulación masiva de sargazo sobre los diferentes ecosistemas costeros y resaltar la necesidad de tener una estrategia de seguimiento de la condición de estos ecosistemas por el efecto del sargazo acumulado.

■ **Área de interés**

■ El Caribe mexicano comprende la totalidad del estado de Quintana Roo, con un litoral de aproximadamente 900 km. Dada su posición y orientación, las costas reciben la influencia directa y continua de las corrientes marinas del Caribe y, como consecuencia, en la costa se quedan varadas importantes cantidades del sargazo pelágico transportado, en particular, durante los meses del año en los que predominan los **vientos alisios**. Si bien se reconoce que no todo el litoral se ve afectado por el varamiento y la descomposición del sargazo pelágico, no existe una estimación precisa de la extensión afectada ni de los volúmenes de sargazo varados. Sin embargo, los esfuerzos de recolecta y disposición *ex situ* del sargazo se limitan a las principales áreas turísticas del norte y centro de Quintana Roo y sobre el litoral que cuenta con desarrollos, ciudades y poblados turísticamente relevantes.

Los efectos de la descomposición del sargazo

◀ **Vientos alisios**

Vientos que circulan entre los trópicos, desde los 30 o 35° de latitud hacia el ecuador. Se dirigen desde las altas presiones subtropicales hacia las bajas presiones ecuatoriales.



sobre la costa tienen mayores repercusiones en el sur del Caribe mexicano por ser una de las regiones en donde la recolección y disposición lejos de la costa son mínimas. Desde 2014 el sargazo se ha seguido acumulando en esta parte del litoral (véase la Figura 1); por ello, sus efectos directos y residuales en los ecosistemas costeros deben ser evaluados para conocer los cambios estructurales y funcionales que ha ocasionado, particularmente por los bienes y servicios que los manglares, las dunas costeras y los arrecifes de coral proveen a la sociedad, más allá de su importancia económica para el turismo, entre otras actividades.

■ **Condición de la calidad del agua**

■ El agua de las lagunas arrecifales es el entorno inmediato en el que se producen los primeros impactos negativos derivados de la descomposición del sargazo acumulado en la costa. En un primer estu-

dio realizado de agosto a octubre de 2015 –el primer año de arribazón masiva en el Caribe mexicano–, se documentaron cuatro zonas claramente definidas en las lagunas arrecifales de Mahahual, Xahuayxol e Xcalak:

- La zona A corresponde a la línea de playa donde el sargazo se deposita, acumula y descompone. Esta zona se extiende desde la línea de costa hasta aproximadamente 10 m mar adentro.
- La zona B corresponde a la franja contigua mar adentro, donde el sargazo fresco está en continua acumulación. Su amplitud es muy variable y puede extenderse hasta 100 m en casos extremos, como en Xcalak.
- La zona C corresponde a la franja donde no hay sargazo acumulándose, pero el agua es turbia y de color marrón debido a la presencia de lixiviados y material orgánico particulado proveniente de la zona de acumulación y descomposición. Su



Figura 1. Acumulación y descomposición de sargazo sobre la costa en el sur de Quintana Roo, en Mahahual, durante agosto de 2015. *Fotografía:* Héctor A. Hernández Arana.

extensión varía en función de la dinámica hidrológica de la laguna arrecifal, pero se concentra en los puntos de salida hacia el arrecife frontal.

- En la zona D, el agua ya presenta las características típicas de transparencia por las que son reconocidas las lagunas arrecifales del Caribe mexicano.

Las características hidrológicas básicas (temperatura, potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto y potencial de óxido-reducción) de estas cuatro zonas en las lagunas arrecifales de Mahahual, Xahuayxol e Xcalak se describen en la Figura 2.

De acuerdo con el estudio, la temperatura del agua fue superior a 29 °C. Los valores promedio de temperatura son mayores en la zona A, con máximos cercanos a 37 °C en la laguna arrecifal de Xcalak. Esta temperatura elevada se debe a la reacción química al formarse ácido sulfhídrico durante el

proceso de descomposición por la liberación del azufre contenido en los tejidos del sargazo y su consecuente reacción en el agua. En tanto, en la zona C –zona de lixiviados– se registró el segundo valor más alto de temperatura promedio.

Por otra parte, la liberación de azufre, con la consecuente formación de ácido sulfhídrico y la acumulación de material orgánico en descomposición, tiene un efecto directo sobre el pH, cuyos valores son menores en la zona A (el mínimo se registró en el poblado de Xcalak). Los valores de pH muestran un claro gradiente de menor a mayor a lo largo de las cuatro zonas en las lagunas arrecifales de Xahuayxol e Xcalak.

Además, la combinación de una temperatura elevada con la acumulación de material orgánico tiene un efecto directo sobre la solubilidad del oxígeno en el agua; esto se ve en la disminución de la concentración de oxígeno en la zona A de Mahahual, las

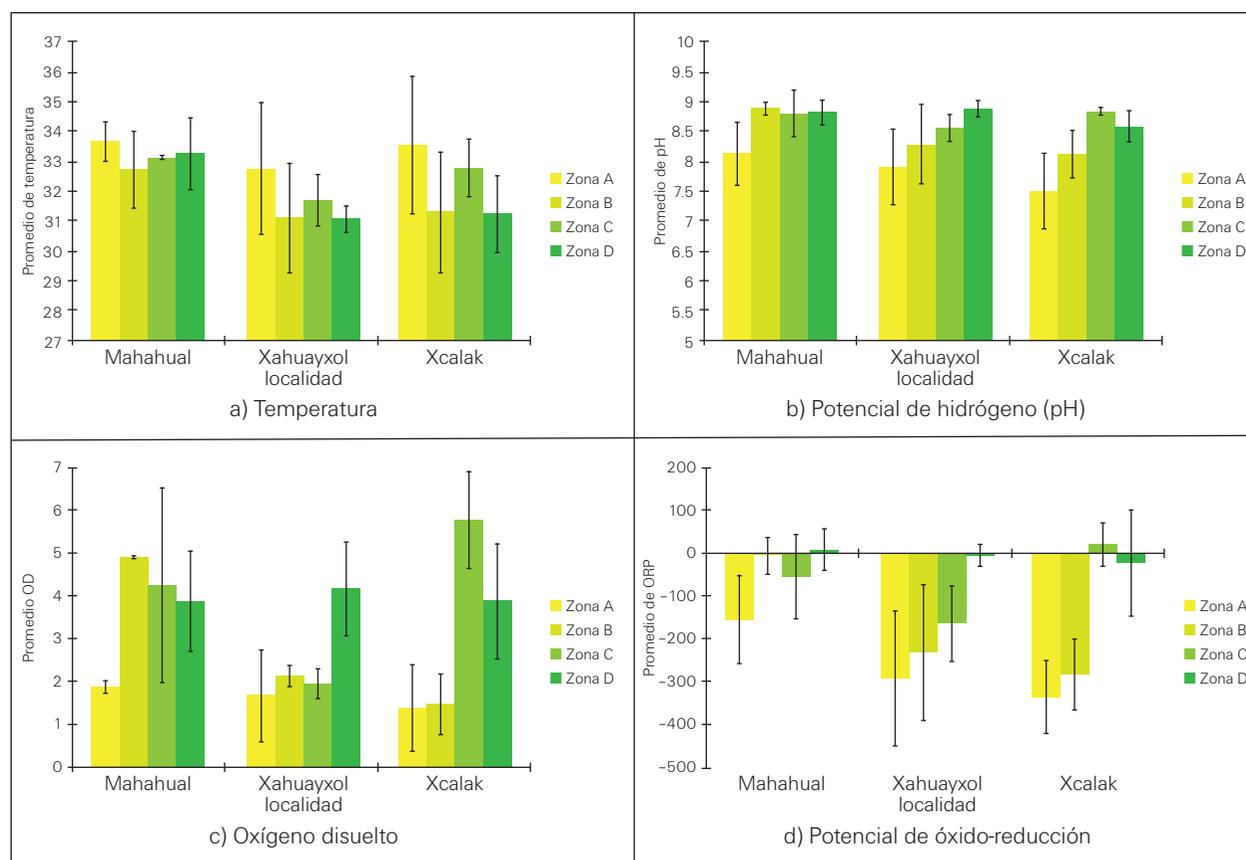


Figura 2. Características hidrológicas básicas de cuatro zonas en las lagunas arrecifales de Mahahual, Xahuayxol e Xcalak: a) temperatura, b) potencial de hidrógeno, c) oxígeno disuelto, y d) potencial de óxido-reducción. Elaboración a partir de datos de Héctor Hernández Arana.



zonas A, B y C de Xahuayxol, y las zonas A y B de Xcalak.

Estos cambios drásticos en la hidrología de las zonas A, B y C alteran los procesos de depuración de las lagunas arrecifales. En condiciones normales de temperatura, pH y oxígeno disuelto, los procesos de depuración de la materia orgánica son principalmente oxidativos, lo cual favorece el registro de valores positivos del potencial de óxido-reducción. Sin embargo, en condiciones de elevada temperatura, pH reducido y disminución del oxígeno disuelto, los valores del potencial de reducción son negativos. Esta condición fue más severa para la laguna arrecifal de Xahuayxol, y en menor medida para Mahahual.

Efectos directos sobre la biota

Los profundos cambios fisicoquímicos en la calidad del agua de las lagunas arrecifales producen

efectos directos e inmediatos en la biota. Un ejemplo es la muerte por ahogamiento de numerosos grupos taxonómicos de fauna y flora, entre ellos: peces, gusanos, cangrejos, erizos y estrellas de mar, almejas, corales y pastos marinos. Asimismo, la recurrencia actual del fenómeno ha provocado cambios estructurales por el aumento de la mortalidad en los arrecifes coralinos de aguas poco profundas en el sur de Quintana Roo. Estos cambios son inducidos, en parte, por la proliferación de algas, cuyo masivo florecimiento recubre toda la superficie del fondo, incluida la biota. El resultado directo es la muerte de organismos arrecifales, como corales duros, corales blandos y esponjas, entre otros.

El Caribe mexicano ante el arribo masivo de sargazo pelágico

De manera adicional, el contexto ambiental actual del Caribe mexicano es resultado de una sobre-

posición de efectos e impactos negativos derivados del acelerado cambio de uso de suelo en las últimas cinco décadas. El deficiente tratamiento de aguas residuales de ciudades y desarrollos costeros, los contaminantes y fertilizantes derivados de las actividades agrícolas y turísticas, los impactos crónicos relacionados con las actividades náutico-recreativas, el escenario regional adverso por un aumento de la temperatura del mar superficial y su relación con la intensificación de los huracanes en los últimos años han producido profundos cambios estructurales y funcionales en los ecosistemas costeros, desde los manglares hasta los arrecifes de coral. A este escenario ambiental se suma el fenómeno oceánico emergente de la proliferación de sargazo pelágico. Sin embargo, las medidas de control realizadas por las autoridades locales y federales para remover la biomasa acumulada en las playas han sido insuficientes en los casi 900 km lineales de costa, ya que hacen falta lineamientos operativos basados en el conocimiento científico. En particular, los efectos de la descomposición del sargazo sobre la costa tienen mayores repercusiones en el sur del Caribe mexicano, donde el sargazo se ha acumulado desde 2014.

Héctor A. Hernández Arana

Estructura y Función de Ecosistemas Costeros Tropicales,
El Colegio de la Frontera Sur, unidad Chetumal.
hhernand@ecosur.mx

Referencias específicas

- Djakouré, S., M. Araujo, A. Hounsou-Gbo, C. Noriega y B. Bourlés (2017), "On the potential causes of the recent Pelagic Sargassum blooms events in the Tropical North Atlantic Ocean", *Biogeosciences Discuss.* Disponible en: <<https://doi.org/10.5194/bg-2017-346>>, consultado el 7 de septiembre de 2020.
- Gower, J., C. Hu, G. Borstad y S. King (2006), "Ocean color satellites show extensive lines of floating sargassum in the gulf of Mexico", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(12):3619-3625.
- Gower, J., E. Young y S. King (2013), "Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011", *Remote Sensing Letters*, 4(8):764-773.
- Van Tussenbroek, B. I., H. A. Hernández-Arana, R. E. Rodríguez-Martínez, J. Espinoza-Ávalos, H. M. Canizales-Flores, C. E. González-Godoy, M. G. Barba-Santos, A. Vega-Zepeda y L. Collado-Vides (2017), "Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities", *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2): 272-281.
- Wang, M., C. Hu, B. B. Barnes, G. Mitchum, B. Lapointe y J. P. Montoya (2019), "The great Atlantic Sargassum belt", *Science*, 365(6447):83-87.