

Registro de arribazón inusual de *Sargassum* (Phaeophyceae) para la costa Atlántica de Costa Rica

Unusual drift of *Sargassum* (Phaeophyceae) for the Atlantic coast of Costa Rica

Rubén Cabrera^{1*}, Jhoana Díaz-Larrea², Arsenio J. Areces³, Laura Nuñez-García², J. Ricardo Cruz-Aviña⁴ y Ricardo Radulovich^{5†}

Recibido: 14 de octubre de 2020.

Aceptado: 29 de marzo de 2021.

Publicado: abril de 2021.

RESUMEN

Antecedentes: Desde 2011, las costas de América del Norte, México y el Caribe han experimentado un aumento inusual en la llegada de *Sargassum* de arribazón. Como consecuencia, se han generado acumulaciones masivas de especies holopelágicas del género *Sargassum* en áreas costeras del Caribe que amenazan la biodiversidad local y desencadenan pérdidas económicas asociadas con el deterioro de las playas y el impacto en la pesca y el turismo. **Objetivo:** Se cuantifica la presencia de una deriva excesiva de *Sargassum* en dos sitios (Puerto Viejo y Punta Uva) de la costa caribeña de Costa Rica, provincia de Limón, en los meses de marzo y abril de 2019. Se presenta la lista de especies de macroalgas conspicuas asociadas al fenómeno en seis sitios (Punta Cahuita, Puerto Vargas, Puerto Viejo, Playa Chiquita, Punta Uva y Manzanillo) en el Caribe. Además, se cuantifican los morfotipos de *Sargassum* para el área de estudio. **Métodos:** Se ubicaron transectos (50 m) paralelos a la línea de costa y, en puntos previamente estimados, un cuadrante de 25 x 25 cm cubrió todo el ancho de banda de *Sargassum* en la playa hasta la línea de flotación, volteando los cuadrantes y recolectando la biomasa para tantos cuadrantes como fueron necesarios para la cubrir la zona arribada. Luego, se pesó la biomasa pelágica de *Sargassum* en cada punto, y se estimó la biomasa en peso seco. Se recolectaron tres cuadrantes mediante el método de transectos. Se identificaron especies asociadas, así como morfotipos de *Sargassum* en todos los sitios. **Resultados:** se presenta la morfología de los tres morfotipos de especies pelágicas. El supuestamente raro *S. natans* VIII dominó el arribo de algas (65% de peso seco), seguido por *S. natans* I (25% de peso seco), *S. fluitans* (10% de peso seco). Se identificaron 28 especies de las Divisiones: Chlorophyta (9), Ochrophyta (15) y Rhodophyta (4). **Conclusiones:** No existen diferencias significativas entre meses (marzo-abril) y sitios (Puerto Viejo y Punta Uva) para la biomasa arribada.

Palabras clave: Arribo de macroalgas, Caribe, Costa Rica, *Sargassum*.

ABSTRACT

Background: Since 2011, the coasts of North America, Mexico, and the Caribbean have experienced an unusual increase in the arrival of *Sargassum*. As a consequence of this massive accumulations of *Sargassum* holopelagic species in Caribbean Sea have been generated and that threaten local biodiversity and trigger economic losses associated with beach deterioration and impact on fisheries and tourism. **Goals:** This document quantifies the occurrence of an excessive drift of *Sargassum* in two sites (Puerto Viejo and Punta Uva) of the Caribbean coast of Costa Rica, Limón province, in March-April of 2019. A macroalgae species checklist is presented from six sites (Punta Cahuita, Puerto Vargas, Puerto Viejo, Playa Chiquita, Punta Uva and Manzanillo) in the Caribbean. In addition, the *Sargassum* morphotypes are quantified for the study area. **Methods:** Transects (50 m) were located parallel to the shoreline and, in points previously estimated, a quadrat of 25 x 25 cm covered the entire *Sargassum* band width on the beach until the water line, by flipping the quadrats and collecting the biomass for as many quadrats were necessary for the band. Then, pelagic *Sargassum* biomass was weighted in every point, and the dry weight biomass was estimated. Three quadrats were collected by the transect method. Associated species were identified as well as *Sargassum* morphotypes in all sites. **Results:** Descriptions that illustrate the morphology of the three morphotypes of pelagic species.

*Corresponding author:

Rubén Cabrera: e-mail: cabreraalgas@gmail.com

To quote as:

Cabrera, R., J. Díaz-Larrea, A. J. Areces, L. Nuñez-García, J. R. Cruz-Aviña & R. Radulovich. 2021. Registro de arribazón inusual de *Sargassum* (Phaeophyceae) para la costa Atlántica de Costa Rica. *Hidrobiológica* 31 (1): 31-42.

DOI:10.24275/uam/izt/dcbshidro/2021v31n1/Cabrera

The putatively rare *S. natans* VIII dominated the drift (65 % dry weight), followed by *S. natans* I (25% dry weight), and *S. fluitans* (10 % dry). Twenty eight species were identified from Chlorophyta (9), Ochrophyta (15), and Rhodophyta (4) Divisions. **Conclusions:** There were no significant differences between months (March-April) and sites (Puerto Viejo and Punta Uva) for the drift biomass.

Keywords: Caribbean, Costa Rica, Macroalgal drift, *Sargassum*.

INTRODUCCIÓN

Un fenómeno emergente y significativo es el florecimiento sin precedentes de algas pelágicas del género *Sargassum* en muchas regiones del Atlántico. Acontecimiento que hoy día afecta a África Occidental, donde desde 2009 comienzan a registrarse grandes acumulaciones de algas holopelágicas (Addico & de Graft-Johnson, 2016).

Comunmente, el patrón de distribución del sargazo pelágico es en pequeños grupos masivos, los que tienden a alinearse en filas en la dirección de los vientos. Durante los períodos de clima tranquilo, las algas a la deriva se agregan en parches más grandes (Butler *et al.*, 1983), y una referencia de su abundancia es el Mar de los Sargazos que alberga alrededor de diez millones de toneladas de biomasa húmeda (Johnson *et al.*, 2013). Este ecosistema flotante es capaz de fijar una gran cantidad de carbono y ha sido comparado con los manglares por su capacidad de fijación (Gouvêa *et al.*, 2020). Registradas por Cristóbal Colón el 16 de septiembre de 1492 como “masas de algas flotantes”, según refiere Farlow (1914), constituye causa de preocupación en los últimos años, pues los niveles de existencia parecen incrementarse sin razón aparente en las áreas costeras del Atlántico, como por ejemplo el Golfo de México (Van-Tussenbroek *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019); República Dominicana (Fernández *et al.*, 2017); Cuba (Moreira & Alfonso, 2013), entre otros.

A pesar de ser informada su presencia en las costas del Golfo de México y el Mar Caribe (Taylor, 1960), es solo a partir de 2011 que la biomasa arrastrada alcanza niveles sin precedentes, y se observa en localidades donde fue poco común, o no se registraron presencias previas a esta fecha (Smetacek & Zingone, 2013; Gavio *et al.*, 2015; Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016; Louime *et al.*, 2017).

Varias hipótesis se han propuesto para explicar tales eventos, incluyendo un exceso de cargas de nutrientes, el cambio en las corrientes y temperaturas de la superficie del mar, inusualmente elevadas (Djakouré *et al.*, 2017; Miron *et al.*, 2020). Muchos de estos estudios sugieren que: 1)- Los florecimientos de *Sargassum* han sido producto de las descargas anómalas de nutrientes a través del río Amazonas y están relacionadas con la deforestación río arriba; 2)- Los cambios en los florecimientos del noroeste de África, causados por el aumento de la aridez en el continente y los vientos alisios más fuertes del NE indujeron un afloramiento o surgencia costera estacional intensiva; 3)- Los cambios en las surgencias, en mar abierto las que se relacionan con los cambios en las corrientes oceánicas anormales y los patrones de viento relacionados con el cambio climático; 4)- Cambios en la frecuencia o alteración de los patrones de deposición de polvo africano, son los responsables de este fenómeno o bien la combinación de los factores anteriormente mencionados (Sissini *et al.*, 2017; Oviatt *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019). Ninguno de estos estudios explicó la aparición repentina de *Sargassum* en los trópicos, o la recurrencia anual y continua de florecimientos masivos. Aunque Johns *et al.*, (2020), al

integrar toda la información disponible, lograron establecer modelos coherentes de pronósticos, y presentan una explicación basada en modelos de simulación.

Conocidas como “mareas doradas”, según Milledge & Harvey (2016), su llegada a las costas no deja de ser un acontecimiento inusual y perturbador, tanto para la pesca como para el turismo (Desrochers *et al.*, 2020) y los daños a los ecosistemas cercanos a la costa y a los medios de vida costeros no se han hecho esperar; como tampoco lo han hecho los efectos que sobre la salud humana ha ocasionado la exposición al sargazo en descomposición (UNEP, 2018).

El aprovechamiento de los arribos de macroalgas marinas se remontan al siglo XIV, cuando ya en la antigua Bretaña y Normandía eran empleadas para enriquecer las tierras de cultivo (Bula-Meyer, 2004). Según resumen Desrochers *et al.*, (2020), el sargazo pelágico es utilizado actualmente en sectores muy diversos como el sector agrícola; así como en la obtención de biodiesel, bioplásticos, entre otras aplicaciones. No menos importante es su implementación como subproducto alimenticio en granjas avícolas y bovinas (Moreira & Alfonso, 2013), aunque es importante conocer previamente su composición química, ya que muchos elementos traza pueden afectar a los animales y se sugiere precaución en su implementación (Davis *et al.*, en prensa). A pesar de que se ha evaluado su potencial para el consumo humano (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2020), las altas concentraciones de arsénico han desestimado su implementación como recurso; de igual modo que los bajos rendimientos en la producción de alginatos han desalentado su explotación. Será necesario seguir trabajando para establecer rutas para la futura valorización de la biomasa pelágica de *Sargassum* que arriba a las costas.

La determinación de biomasa de *Sargassum* en la franja costera del Caribe Sur ha sido expuesta por Cabrera *et al.*, (2021). En este estudio se presentan aspectos inéditos luego de un proceso de arribo masivo; así como el registro y cuantificación de morfotipos de *Sargassum* pelágicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio. Costa Rica se ubica en América Central, cuenta con costas en el Océano Pacífico y en el Mar Caribe (Fig. 1 A). La costa caribeña tiene una extensión aproximada de 220 km, casi cinco veces menor que la costa Pacífica (Vargas, 2006). El clima en el Caribe se caracteriza por no presentar una estación seca definida, y muestra dos períodos en los que disminuyen las precipitaciones; el primero: febrero-marzo; y el segundo: septiembre-octubre (IMN, 2020). Por lo que el clima del Caribe Sur es húmedo, caliente, con una estación seca corta (Herrera, 1986). Las mareas tienen condición micro-mareal puesto que no superan los 30 cm de amplitud. El oleaje es marcadamente local, y su mayor intensidad es durante los últimos y los primeros meses del año. Lo que disminuye de septiembre a octubre cuando medran los vientos alisios (Murillo, 2001).

La costa está compuesta por promontorios rocosos que están asociados al complejo arrecifal, conocido como Formación Puerto Viejo. Posee afloramientos rocosos en Puerto Limón, Cahuita y Puerto Viejo, así como a lo largo de las costas rocosas que se presentan entre Puerto Viejo y Punta Mona. De acuerdo con Battistini & Bergoeing (1984), se trata de macizos de coral que alternan con brechas coralinas, así como con antiguos lechos de playa fosilizados (areniscas negras). Dicho com-

plejo sobre yace en algunos sectores como Cahuita y Manzanillo, donde se hallan extensas plataformas arrecifales sumergidas.

Recolecta y procesamiento de muestras. El muestreo se realizó en seis localidades del Caribe Sur de Costa Rica (Fig. 1 B), donde se registra el evento de arribo masivo de *Sargassum* pelágico, ocurrido entre los meses de marzo y abril de 2019.

Se recolectaron al azar treinta individuos de *Sargassum* en las seis localidades, desde Punta Cahuita hasta Manzanillo, en los meses de marzo y abril de 2019, para documentar el fenómeno. El material recolectado fue depositado y catalogado en el herbario de la Universidad Autónoma Metropolitana de México (UAMIZ) (Thiers, 2020), como evidencia del proceso de arribo en las costas del Caribe. Para cuantificar los morfotipos, se tomó el contenido de tres cuadrantes de 25 x 25 cm en cada uno de los sitios de los estudios, donde se separaron en tres categorías, de acuerdo a Parr (1939): *Sargassum fluitans* III (Sf III) *Sargassum natans* I (Sn I) y *Sargassum natans* VIII (Sn VIII).

Para la cuantificación de la biomasa de arribazón se recolectó material en dos localidades: Puerto Viejo y Punta Uva, las cuales fueron seleccionadas por facilidades logísticas, así como por las diferencias

geomorfológicas de los sitios de recolecta. La ubicación de los transectos en el sector costero fue definida con el método sugerido por Areces *et al.* (1993), modificado de acuerdo con las características de las playas. Así, fueron ubicados cuatro transectos por sitio, con el empleo de una cuerda de 50 m de longitud, previamente anudada cada 5m, hasta cubrir la longitud de la cuerda. Se ubicaron los transectos paralelos a la línea de la costa en marea baja, de modo que permitiera abarcar aproximadamente el 75% de la longitud de las dos playas seleccionadas.

Para seleccionar los cinco puntos (de cada transecto) donde se realizaron los muestreos de biomasa, se utilizó el método de la tabla de números aleatorios. En cada punto, se ubicó un marco cuadrado de 25 x 25 cm en la zona más cercana al mar (límite de marea), donde comienza el arribazón. El cuadrante se trasladó perpendicularmente al transecto con la ayuda de una cuerda, para que abarcara el ancho de la franja de arribazón en el mesolitoral. El número de cuadrantes dependió del ancho del arribazón (Fig. 2). En cada punto se recolectó toda la biomasa dentro del marco cuadrado. Se pesó la biomasa húmeda *in situ*, con una balanza manual de resorte y, posteriormente, se almacenaron en bolsas de polietileno roturado para su traslado. Una vez en el laboratorio, el contenido de las bolsas fue clasificado. Se descartaron

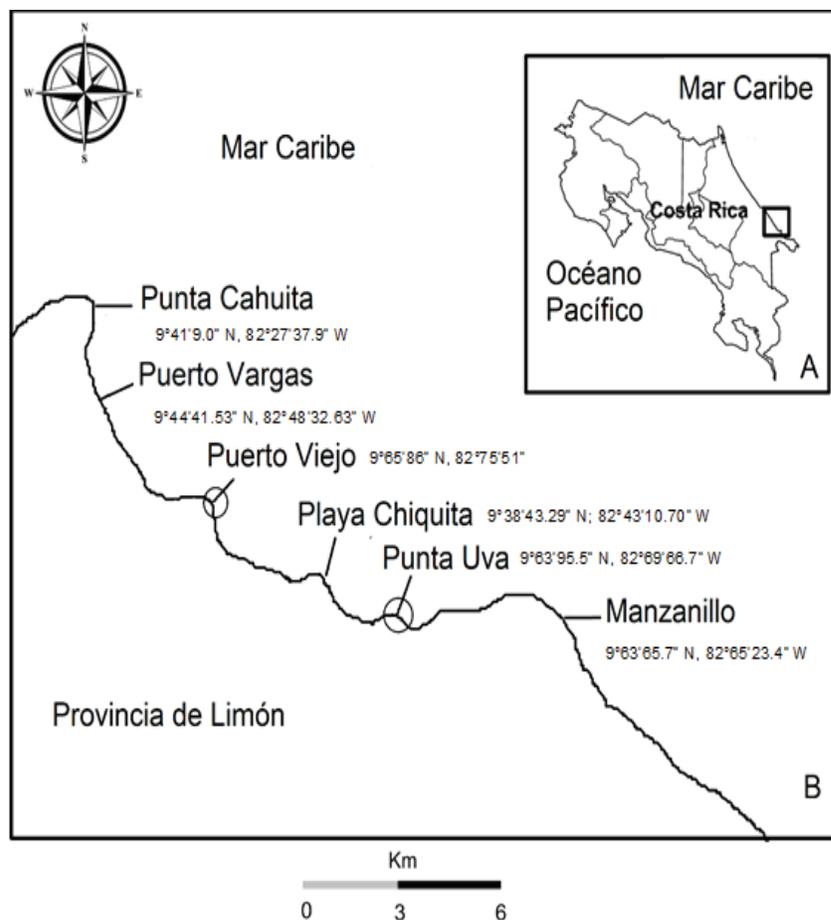


Figura 1. Zona de Estudio A, B. A, Límites geográficos de Costa Rica. B, Estaciones de muestreo. [Punta Cahuita, Puerto Vargas, Puerto Viejo, Playa Chiquita, Punta Uva, Manzanillo. Se indican con círculos las estaciones donde se determina la biomasa de arribazón.

fanerógamas, así como los invertebrados incorporados al material vegetal recolectado. Solo se consideraron las macroalgas con más de 1 cm de longitud, para su identificación, debido a lo laborioso que resulta la identificación de organismos de menor porte; sobre todo si éstos no recubren significativamente el talo de las algas arribadas, hecho que sí puede tener un interés ecológico cuando está presente. El material seleccionado fue lavado con abundante agua corriente para eliminar exceso de arena e impurezas, y posteriormente escurrido para, finalmente, ser sometido a un proceso de secado en una estufa a 60°C, durante 12 horas. Ello permitió obtener el peso con el producto seco en una balanza técnica PCE-LS.

Análisis de datos. Los especímenes recolectados en las seis estaciones fueron identificados empleando claves y esquemas de literatura especializada (Parr, 1939; Taylor, 1960; Littler & Littler, 2000; Littler *et al.* 2008).

Para la clasificación de los especímenes recolectados, en sus respectivos grupos morfológicos, se siguieron los criterios de Parr (1939) y Winge (1923). El material para herbario recolectado se agrupó en tres morfotipos, *sensu* Parr (1939): *Sf* III (n=6), *Sn* I (n=8) y *Sn* VIII (n=16). Los valores de n, se corresponden con el número de ejemplares depositados en el herbario UAMIZ.

En cuanto a los caracteres que los definen se puede decir que *Sf* III presenta espinas en el estipe y ausencia de éstas en las vesículas aéreas. *Sn* I, por su parte, es morfológicamente más coherente con la descripción de *Sargassum natans* (L.) Gaillon (Gaillon, 1828). Su forma es grácil y delgada, y posee un estipe liso y presenta espinas en las vesículas aéreas. El grupo más complejo basado en las variaciones morfológicas es *S. natans* VIII, que presentó características comunes a *S. fluitans* III y a *S. natans* I. Los miembros del grupo VIII presentaron filoides más largos y anchos que los otros dos morfotipos, no tiene

espinas en el estipe como *S. natans*, y rara vez presenta espinas en las vesículas de aéreas. Cabe destacar que este morfotipo puede confundirse con la forma típica de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen.

Con el objetivo de determinar el porcentaje por los grupos (I, III, VIII), se tomó el contenido del material vegetal de tres cuadrantes de 25 x 25 cm tomados al azar en cada uno de los sitios. Todo el material se separó convenientemente por clases (I, III, VIII). Estos grupos previamente catalogados se lavaron eliminando el exceso de arena y escurrieron para luego ser secados a 60° C, en estufa con aireación. Una vez seco el material, se pesó cada uno de los grupos, con la ayuda de una balanza técnica (precisión ± 0.01 g). Para determinar los porcentajes de contribución de cada grupo, se determinó el porcentaje por regla de tres directa:

$$X = (A) (100/B)$$

Donde, X= porcentaje de contribución de un grupo. A= valor de una clase de datos. En este caso, peso seco de un grupo (I, III, VIII). B= sumatoria de todas las clases de datos, en este caso (Σ I, III, VIII).

Análisis de varianzas. Para la realización de estas pruebas paramétricas, se determinó si existía dependencia de la varianza con respecto a la media para los datos biomasa seca arribada. Los datos que presentaron correlación se transformaron tomando como criterio el valor de la pendiente (b), de la línea de regresión del logaritmo de la varianza sobre el logaritmo de la media, quedando como X^T , donde $T = 1 - b/2$ y es el valor de la transformación, según la ley de potencia de Taylor (Elliot, 1971). El análisis de varianza se consideró un diseño bifactorial de efectos fijos, en el cual los factores son el mes (2 niveles) y el sitio (2 niveles). El procesamiento estadístico de los datos se realizó utilizando el paquete Statistica 10 (Statsoft Inc., 1984-2011). Se le aplicó una transformación de escala ($X^{(0.43)}$) a los valores de biomasa seca. Para determinar si

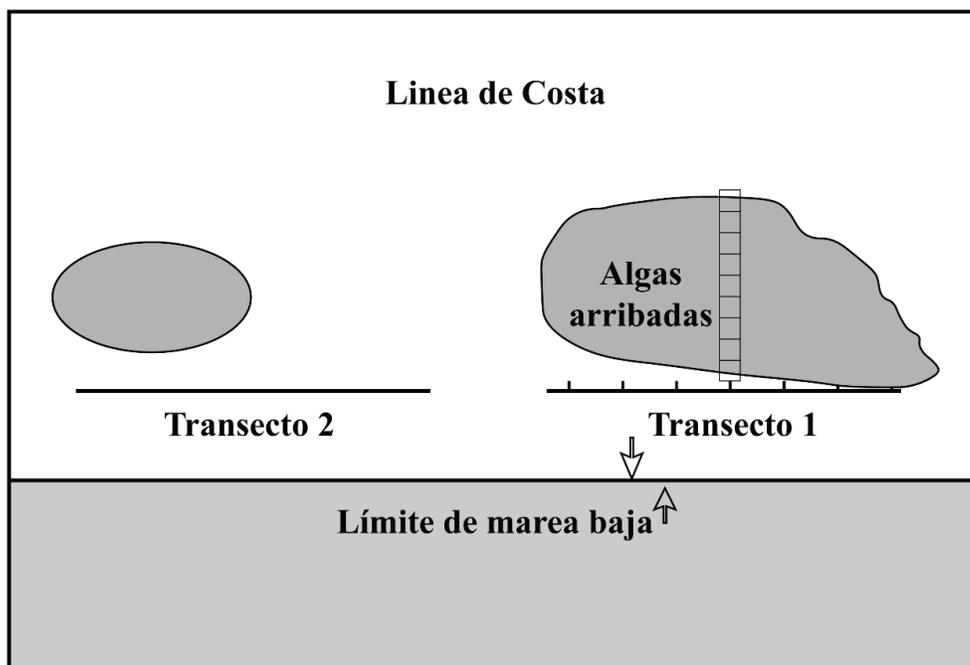


Figura 2. Diagrama metodológico empleado en la toma de muestras de algas arribadas a la costa.

existían diferencias significativas en la biomasa seca que arribó a los dos sitios (Puerto Viejo y Punta Uva), y entre meses (Marzo y Abril) se usó la prueba de T de Student, con un 95% de confianza.

RESULTADOS

Las dos especies del género *Sargassum* que arribaron a las costas del Caribe Sur fueron *S. fluitans* y *S. natans*, ambas están presentes en el Océano Atlántico Occidental (Wynne, 2017) y constituyen las principales especies que arriban de forma masiva a las costas del país desde el año 2011, según Cabrera *et al.* (2021). *Sargassum natans*, por su parte presenta, dos tipos morfológicos muy distintivos *Sn I* y *Sn VIII* (Fig. 3). No menos importante es la magnitud del proceso de arribo, sobre todo si lo comparamos con eventos anteriores a 2019 (Fig. 4).

La totalidad de los individuos recolectados para herbario fueron separados convenientemente en grupos (Tabla 1) y se depositaron en el herbario UAMIZ (ver material examinado).

Material examinado:

Sargassum natans. *Sn I*. Caribe Sur de Costa Rica. Estación Punta Cahuita: 9°41'9.0" N, 82°27'37.9" W, profundidad: 0 m, sustrato: rocoso, 10/3/2019, 14/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Puerto Vargas: 9°44'41.53" N, 82°48'32.63" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso con rocas, 10/3/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Puerto Viejo, 9°65'86"N, 82°75'51"W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso-rocoso, 20/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Playa Chiquita, 9°38'43.29" N; 82°43'10.70" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso con rocas aisladas, 17/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Punta Uva, 9°63'95.5"N, 82°69'66.7" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso, -/4/2011, *leg.* R. Cabrera, 701916 MICH, 12/3/2019, 14/4/2019, *leg.* R. Cabrera. Estación Manzanillo, 9°63'65.7"N, 82°65'23.4"W, profundidad: 0 m, sustrato: rocoso, 18/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ.

Sn VIII. Caribe Sur de Costa Rica. Estación Punta Cahuita: 9°41'9.0" N, 82°27'37.9" W, profundidad: 0 m, sustrato: rocoso, 10/3/2019, 14/4/2019, 14/4/2019, 14/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Puerto Vargas: 9°44'41.53" N, 82°48'32.63" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso con rocas, 10/3/2019, 14/4/2019, 14/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Puerto Viejo, 9°65'86" N, 82°75'51" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso-rocoso, 14/3/2019, 14/3/2019, 14/3/2019, 20/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Playa Chiquita, 9°38'43.29" N; 82°43'10.70" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso con rocas aisladas, 12/3/2019, 17/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Punta Uva, 9°63'95.5"N, 82°69'66.7" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso, 12/3/2019, 14/4/2019, *leg.* R. Cabrera. Estación Manzanillo, 9°63'65.7" N, 82°65'23.4" W, profundidad: 0 m, sustrato: rocoso, 18/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ.

Sargassum fluitans. *Sf III*. Caribe Sur de Costa Rica. Estación Punta Cahuita: 9°41'9.0" N, 82°27'37.9" W, profundidad: 0 m, sustrato: rocoso, 10/3/2019, 14/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Playa Chiquita, 9°38'43.29" N; 82°43'10.70" W, profundidad: 0 m, sustrato: arenoso con rocas aisladas, 12/3/2019, 17/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ. Estación Manzanillo, 9°63'65.7" N, 82°65'23.4" W, profundidad: 0 m, sustrato: rocoso, 15/3/2019; 18/4/2019, *leg.* R. Cabrera, s/n UAMIZ.

A los grupos de macroalgas que se cuantificaron en cada marco cuadrado (n=3), se identificaron utilizando caracteres morfológicos definidos por Parr (1939), que incluyeron características de la fronda (filoides), presencia o ausencia de espinas en los ejes, y presencia de apéndices (mucrón) en las vejigas de aire, así como por tamaño de los filoides que fue otra característica empleada. Según las definiciones de Parr, *Sf. III*, puede distinguirse de *Sn. I* y *Sn. VIII*, basándose en la presencia de espinas en sus ejes del cauloides. *Sargassum fluitans* tampoco tiene apéndices (mucronados) en sus vesículas que, generalmente, están

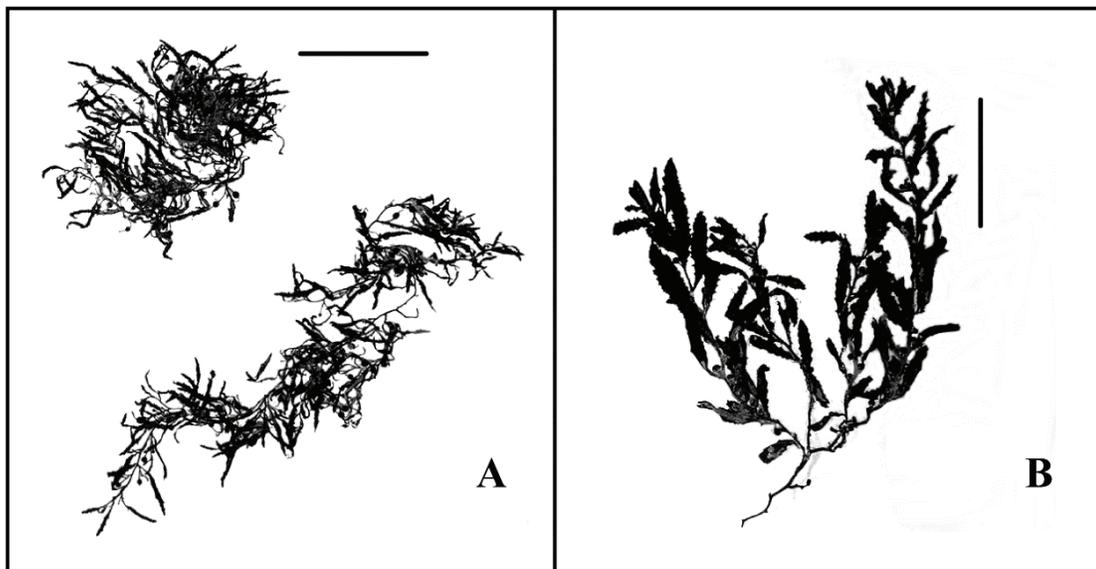


Figura 3 A-B. *Sargassum natans*. A. *Sn I**. B. *Sn VIII***.. Diferencias morfológicas en la especie de acuerdo con Parr (1939). 701916 MICH*, s/n UAMIZ**. Escala = 2 cm. (los asteriscos se refieren al material de herbario al que corresponden).

presentes en vesículas de *Sn. I* y, ocasionalmente se encuentran en vesículas de *Sn. VIII*. Las dos especies de *S. natans* también se pueden distinguir en función de lo ancho de sus filoides. *Sn. I* tiene los filoides mucho más estrechos que *Sn. VIII* (Fig. 5).

En Costa Rica se presentaron para el Caribe Sur *Sn. I* y *VIII*, y entre éstos el más abundante, dado su porcentaje de aparición, fue *Sn. VIII* (65 vs 25 %). El *Sf. III*, por su parte, presentó niveles del 10% durante el periodo de estudio (Fig. 6). La composición por especies de macroalgas asociadas a los *Sargassum* holopelágicos fue baja (Tablas 2, 3), y los análisis estadísticos reflejaron que no se presentaron diferencias significativas al comparar la biomasa de arribazón, entre los meses o

los sitios de interés. La biomasa arribada de algas presentó una interacción significativa para la combinación de los dos factores (Tabla 4). Los valores de biomasa de arribazón oscilaron entre 85.3 y 97.1 Kg/m² para la mayoría de las combinaciones mes-sitio.

DISCUSIÓN

Los estudios de las arribazones pueden registrar otras especies de interés comercial (Núñez-Reséndiz *et al.*, 2019), documentar, según interés, especies bentónicas y pelágicas de *Sargassum* (Moreira *et al.*, 2006), o bien censar las algas acompañantes de las especies holope-

Tabla 1. Lista de especies de macroalgas más conspicuas asociadas al arribazón. (x= presencia, 0= ausencia).

ESPECIES	Punta Cahuita		Puerto Vargas		Puerto Viejo		Playa Chiquita		Punta Uva		Manzanillo	
	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A	M	A
Chlorophyta												
<i>Anadyomene stellata</i> (Wulfen) C. Agardh	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x	x
<i>Avrainvillea digitata</i> D. S. Littler & Littler	0	0	0	0	x	x	0	0	0	0	x	x
<i>Caulerpa prolifera</i> (Forsskål) J. V. Lamouroux	0	0	0	0	0	0	x	x	0	0	0	0
<i>Caulerpa sertularioides</i> (S. G. Gmelin) M. Howe	x	x	0	0	x	0	0	0	x	x	0	0
<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dillwyn) Kützing	0	0	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0
<i>Codium taylorii</i> P.C. Silva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x
<i>Dictyosphaeria cavernosa</i> (Forsskål) Børgesen	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x
<i>Penicillus capitatus</i> Lamarck	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0
<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x
Ochrophyta												
<i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kützing) De Paula & De Clerck	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	x	x
<i>Dictyopteris delicatula</i> J. V. Lamouroux	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dictyota caribaea</i> Hörnig & Schnetter	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	x	x
<i>Dictyota ciliolata</i> Sonder ex Kützing	0	x	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sargassum cymosum</i> C. Agardh	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	x	x
<i>Sargassum filipendula</i> C. Agardh	x	x	0	0	0	0	x	x	0	0	0	x
<i>Sargassum filipendula</i> var. <i>montagnei</i> (Bailey) Grunow	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sargassum fluitans</i> (Børgesen) Børgesen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Sargassum furcatum</i> Kützing	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sargassum hystrix</i> J. Agardh	0	0	x	x	0	0	0	0	0	0	x	x
<i>Sargassum hystrix</i> var. <i>spinulosum</i> (Kützing) Grunow	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sargassum natans</i> (Linnaeus) Gaillon	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Sargassum polyceratium</i> var. <i>ovatum</i> (Collins) W. R. Taylor	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x
<i>Turbinaria tricornata</i> E. S. Barton	0	0	0	0	0	0	x	x	0	0	0	0
<i>Turbinaria turbinata</i> (Linnaeus) Kuntze	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0
Rhodophyta												
<i>Alsidium triquetrum</i> (S. G. Gmelin) Trevisan	x	x	0	0	0	0	x	x	x	x	0	0
<i>Chondrophycus perforatus</i> (Bory) K. W. Nam	x	0	x	x	0	x	0	x	x	0	x	0
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann & Hamel	x	0	x	x	0	x	0	x	x	0	0	0
<i>Laurencia</i> spp.	0	0	0	x	0	x	x	x	x	0	x	x

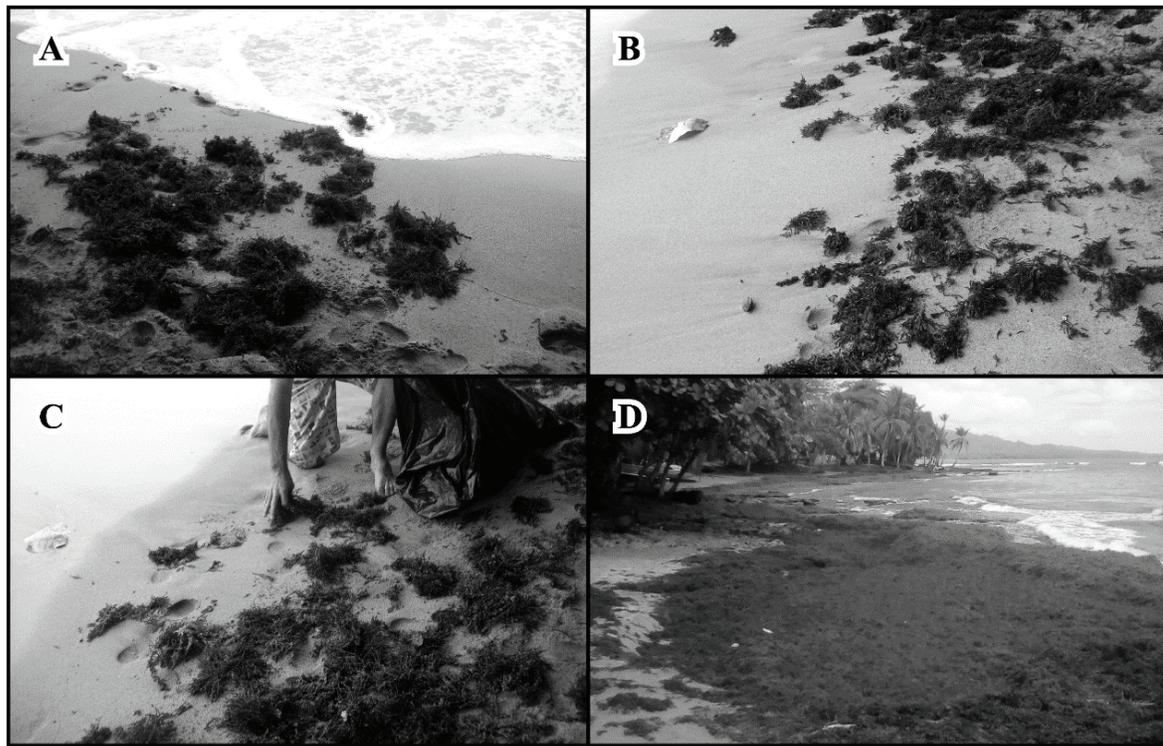


Figura 4 A-D. Evidencias fotográficas que indican la magnitud del arribo de *Sargassum* pelágico en diferentes áreas y épocas en el Caribe Sur. **A.** Punta Uva, septiembre 2010. **B.** Puerto Vargas, julio de 2012. **C.** Playa Chiquita, abril de 2013. **D.** Puerto Viejo, abril de 2019. [Fotografías (**A, B, D**), por: R. Cabrera y **C**, por R. Radulovich tomadas con una cámara Réflex Digital Nikon DX].

lágicas. Solo se reconocen 28 taxones infragenéricos conspicuos de macroalgas en el proceso de arribo que se describe para el Caribe Sur en 2019. Estos valores bajos, en cuanto al número de taxones, son contrarios a los expuestos por Torres-Conde & Martínez-Daranas (2019) para los arribos moderados al norte de Cuba, donde la diversidad de especies es significativa.

Recientemente, los procesos de arribazones se han enfocado no solo en su composición específica; como los realizados por Moreira & Alfonso (2013), quienes registran poblaciones monoespecíficas de *Sargassum fluitans* al Sur de Cuba, sino también en la presencia de grupos

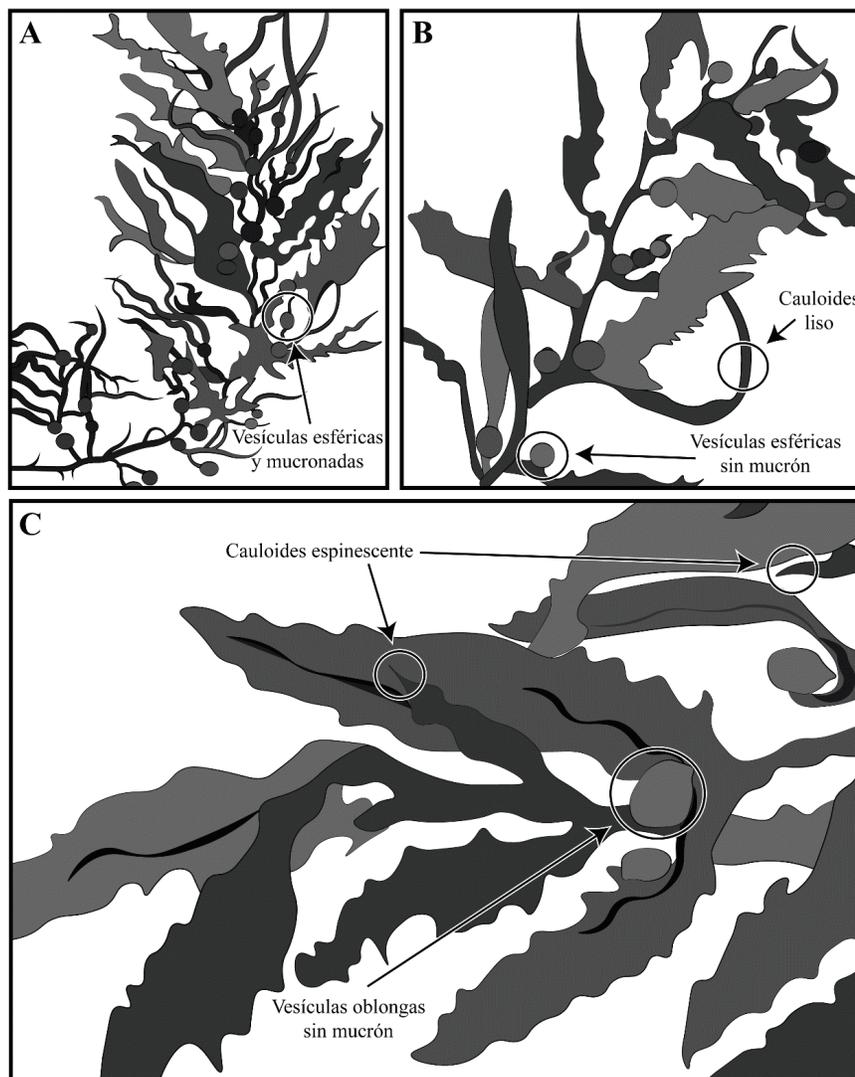
morfológicos dentro de las especies holopelágicas, donde cada forma descrita obedece a patrones ecológicos específicos con una fauna asociada característica (Schell *et al.*, 2015). En nuestros resultados, solo observamos hidroides abundantes en los especímenes recolectados de los tipos *Sn VIII* y *Sf III*, esto es evidente en el material herborizado. Este resultado es similar al observado por Govindarajan *et al.* (2019) quienes no solo fueron capaces de registrar la abundancia sino la también la composición específica.

Tabla 2. Número de especies por zonas de recolecta en marzo (M) y abril (A) de 2019.

Estaciones de recolecta	Chlorophyta		Ochrophyta		Rhodophyta	
	M	A	M	A	M	A
Punta Cahuita	4	3	12	12	3	1
Puerto Vargas	2	2	9	11	2	3
Puerto Viejo	4	3	3	3	0	3
Playa Chiquita	2	1	3	3	2	4
Punta Uva	1	1	2	2	4	1
Manzanillo	6	5	8	8	2	1
Total	17	16	36	39	13	13

Tabla 3. Distribución por grupos morfológicos *Sn* I, *Sn* VIII y *Sf* III para el material de herbario que corresponde al 2019.

Estaciones de recolecta	<i>Sargassum natans</i> (I)	<i>Sargassum natans</i> (VIII)	<i>Sargassum fluitans</i> (III)
Punta Cahuita	2	4	2
Puerto Vargas	1	3	0
Puerto Viejo	1	4	0
Playa Chiquita	1	2	2
Punta Uva	2	2	0
Manzanillo	1	1	2
Total	8	16	6

**Figura 5 A-C.** Diferentes formas morfológicas de *Sargassum* pelágicos hallados en la zona de estudio. **A.** *Sn*. I. **B.** *Sn*. VIII. **C.** *Sf*. III. Según las descripciones de Parr (1939) y Schell *et al.* (2015) [Iconografía R. Cabrera].

Sn I se registró en porcentajes muy bajos si se comparan con los resultados de Schell *et al.* (2015) para sus homólogos del Mar de los Sargazos, sitio donde el grupo I es dominante. El material que se analizó de *Sn I* se caracterizó por presentar una forma delgada y ligera, lo cual coincidió con su mayor acumulación en un mar típicamente oligotrófico (Morel *et al.*, 2010), contrario a las observaciones de Torres-Conde & Martínez-Daranas (2020).

Las grandes porciones de *Sn VIII*, forma más robusta, están en correspondencia con Schell *et al.* (2015), quienes indican que el enriquecimiento acumulado por varios años, sumado a los cambios en los patrones de circulación, desencadenaron eventos masivos de coloniza-

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza bifactorial realizado a partir de la biomasa de algas arribadas. Los datos originales fueron transformados según $X^{0.43}$. (ns= no significativo; *= significativo).

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F	P	
Mes (M)	1	406,503	4,03	0,186	ns
Sitio (S)	1	520,248	5,16	0,002	ns
M x S	1	1353,586	13,43	<0.001	*
Error	236	100,817			

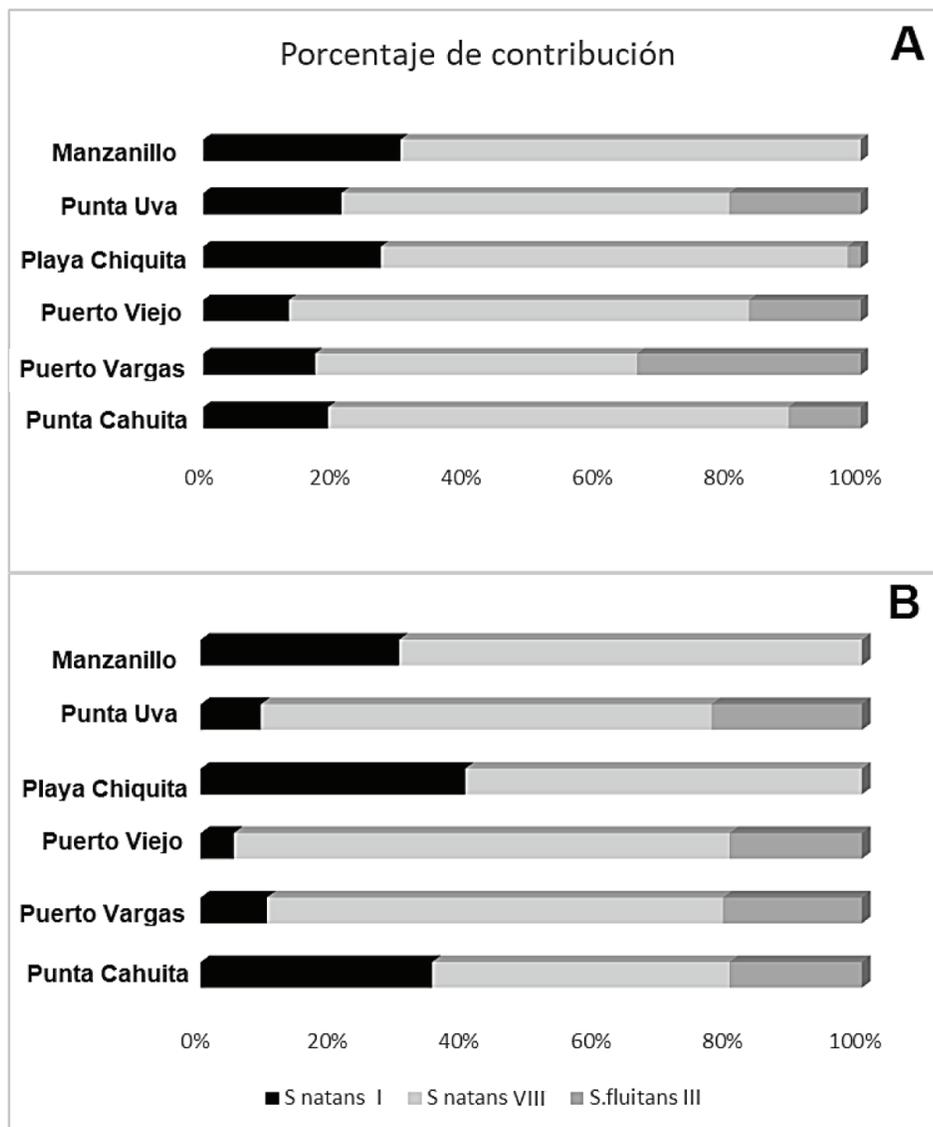


Figura 6. Porcentaje de distribución para *S. natans I*, *S. natans VIII* y *S. fluitans III*, en los diferentes sitios de estudios, en los meses de marzo (A) y abril (B) de 2019, cuando se describió un arribo masivo.

ción hacia el Caribe, Golfo de México y las Antillas, en el año 2011. Esta acumulación mayor e inesperada de *Sargassum* se produjo cerca y a lo largo de las islas del Caribe oriental a partir de 2011 y continuó hasta diciembre de ese año (Gower *et al.*, 2013, Hu *et al.*, 2016). Un evento similar ocurrió en 2012 (Marechal *et al.*, 2017), seguido de eventos de inundaciones de *Sargassum* aún mayores en todo el Caribe de 2014 a 2015 (Hu *et al.*, 2016; Wang & Hu, 2016, 2017).

Sf III se distribuye de forma homogénea en el Atlántico. Este morfotipo muestra proporciones bajas (10%) con respecto a *Sf* I, y a los mostrados por *Sf* VIII en las regiones de las Antillas, el oriente del Caribe y el occidente del Atlántico Tropical, según Schell *et al.* (2015). Lo que también se cumple para la costa caribeña de Costa Rica.

Los niveles de biomasa seca total registrados fueron elevados, ($\pm 95 \text{ Kg/m}^2$) y comparables con los registrados para México, de aproximadamente 87 Kg/m^2 (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). No se registraron diferencias significativas en la biomasa seca que arribó en los dos meses de estudio. Sin embargo, como resultado de las pruebas estadísticas, se registraron diferencias significativas en la biomasa seca en la interacción (Tabla 4). Esta interacción es de tipo sinérgica, donde se modifica la acción de un efecto por la acción de otro (Siegel, 1972). Esto puede estar asociado a las diferencias en la geomorfología del perfil costero, donde un arrecife más consolidado como el de Punta Uva pudo afectar, en algún sentido, el desplazamiento y arribo del material vegetal a la costa. A ello se une la existencia de patrones de corrientes muy dinámicos en la zona (Kinder, 1983), lo que puede contribuir a la presencia de los niveles de abundancia observados. Autores como Minor *et al.* (2020) consideran que la dinámica de las masas inertes de *Sargassum* y sus desplazamientos, obedecen a los efectos combinados. Ellos, a su vez, se basan en la teoría de Maxey-Riley (Beron-Vera *et al.*, 2019), quienes consideran que el desplazamiento de la materia flotante dependerá de su naturaleza física, y toman en cuenta los efectos combinados de la corriente oceánica y el arrastre del viento sobre las partículas de tamaño finito (*e. g Sargassum*) que flotan en la superficie del océano.

Si bien los esfuerzos por cuantificar este fenómeno se van de la escala razonable, según muestran Moreira *et al.* (2006) y Torres-Conde & Martínez-Daranas (2020), en eventos regulares en la plataforma de Cuba, los niveles que se informan actualmente en la región del Caribe son preocupantes. Recientemente, la acumulación de biomasa en niveles como los que se registran para Costa Rica, se debe a una combinación de factores, y serán los estudios moleculares empleando microsatélites los que podrán esclarecer el origen de las arribaciones en el Atlántico (Amaral-Zettler *et al.*, 2017; Mansfield *et al.*, 2017).

Hasta ahora es un hecho indiscutible, basados en nuestros resultados, que amplios registros pueden tener indicadores más confiables de cuantificación, como los aportados por estudios satelitales y no a una escala tan reducida que, por tanto, resulta preliminar a nivel regional.

Wang *et al.*, (2019) registraron que para junio de 2018 la biomasa húmeda alcanzó más de 20 millones de toneladas en el Mar Caribe y Océano Atlántico Central, y en las costas del Caribe mexicano se enfrentaron esteras masivas atípicas de sargazo pelágico, en el verano de 2015 (Van-Tussenbroek *et al.*, 2017). Posteriormente, hubo una disminución durante 2016 y 2017, pero durante la mayor parte de 2018 hasta la fecha la afluencia ha aumentado nuevamente (Langin, 2018; Putman *et al.*, 2018).

Varios estudios revelaron que estas enormes esteras de *Sargassum* tienen una nueva fuente de distribución posible, diferente de la histórica Regional del Atlántico Norte conocida como “El mar de los Sargazos” (Schell *et al.*, 2015). En cambio, el origen más probable de la afluencia masiva en las costas del Caribe es la Regional del Norte Ecuatorial (Johnson *et al.*, 2013; Johns *et al.*, 2020; Schell *et al.*, 2015). Donde las altas temperaturas oceánicas e insumos de nutrientes, entre otros patrones oceanográficos acoplados, como los cambios de las corrientes superficiales, son las causas más probables de esta nueva región de florecimiento de *Sargassum* (Johnson *et al.*, 2013; Gower *et al.*, 2013; Sissini *et al.*, 2017). Un estudio reciente de Wang *et al.* (2019) reveló que los aumentos de sargazo pelágico son impulsados por surgencias en África Occidental durante el invierno boreal y la descarga del río Amazonas durante la primavera y el verano. Los autores afirman que es probable que existan florecimientos recurrentes en el mar Caribe y el Atlántico tropical y destacan la importancia de comprender sus efectos en los ecosistemas existentes para una planificación futura. Uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad, abocada al cambio climático inminente, es el uso de este exceso de biomasa con fines prácticos. Barbados, uno de los países más afectados por estos eventos, ha investigado la viabilidad de utilizar esta biomasa como materia prima para la producción de fertilizantes y electricidad. Sin embargo, considerando los resultados obtenidos por Milledge *et al.* (2020), la explotación de la biomasa de sargazo pelágico, por sí sola, para la producción de biogás, puede ser un desafío.

AGRADECIMIENTOS

A la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica quien gestionó los permisos de recolectas amparados en el Proyecto “Huertos Marinos” OPP-1045878. Se agradece al Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica por otorgar permiso para trabajar en la zona costera protegida de Cahuita en el Caribe. Al profesor Humberto C., por sus comentarios al manuscrito. Al Dr. M. Wynne por la bibliografía facilitada.

REFERENCIAS

- ADDICO, G. N. D. & K. A. A. DE GRAFT-JOHNSON. 2016. Preliminary investigation into the chemical composition of the invasive brown seaweed *Sargassum* along the West Coast of Ghana. *African Journal of Biotechnology* 15 (39): 2184-2191. DOI:10.5897/AJB2015.15177
- AMARAL-ZETTLER, L. A., N. B. DRAGONE, J. SCHELL, B. SLIKAS, L. G. MURPHY, C. E. MORRALL & E. R. ZETTLER. 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.
- ARECES, A. J., A. M. SUÁREZ, O. VALDÉS & M. CANO. 1993. *Recomendaciones metodológicas para evaluar el sargazo de arribazón*. Archivo Científico Instituto Oceanología, Cuba. 8 p.
- BATTISTINI, R. & J. P. BERGOING. 1984. Geomorfología de la costa Caribe de Costa Rica. *Revista Geográfica* 99: 167-188.
- BERON-VERA, F.J., M. J. OLASCOAGA & P. MIRON. 2019. Building a Maxey-Riley framework for surface ocean inertial particle dynamics. *Physics of Fluids* 31: 096602.

- BULA-MEYER, G. 2004. Las macroalgas marinas en la agronomía y el uso potencial del *Sargassum* flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de San Andrés y Providencia, Colombia. *Boletín Ecológico* 1: 191-103.
- BUTLER, J. N., B. F. MORRIS, J. CADWALLADER & A. W. STONER. 1983. Studies of *Sargassum* and the *Sargassum* community. *Bermuda Biological Station Research*, Special Publication 22: 1-307.
- CABRERA, R., A. J. ARECES & J. DÍAZ-LARREA. 2021. *Morfología de Sargassum. Arribazones y cultivo en Costa Rica*. Académica Española. Islas Mauricio. 84 p.
- DAVIS D., R. SIMISTER, M. MARSTON, S. BOSE, S. M. MCQUEEN-MASON, L. D. GÓMEZ, W. A. GALLIMORE & T. TONON. 2021. Biomass composition of the golden tide pelagic seaweeds *Sargassum fluitans* and *S. natans* (morphotypes I and VIII) to inform valorisation pathways. *Science of the Total Environment* 762: 143134.
- DESROCHERS, A., S.A. COX, H. A. OXFENFORD & B. VAN TUSSEN BROEK. 2020. *Sargassum uses guide: a resource for Caribbean researchers, entrepreneurs and policy makers. Report prepared for the Climate Change Adaptation in the Eastern Caribbean Fisheries Sector (CC4FISH) Project of the Food and Agriculture Organization (FAO) and the Global Environment Facility (GEF)*. Centre for Resource Management and Environmental Studies (CERMES), University of the West Indies, Cave Hill Campus Bridgetown: Barbados. 159 pp.
- DJAKOURÉ, S., H. ARAUJO, A. HOUNSOU-GBO, C. NORIEGA & BOURLÈS, B. 2017. On the potential causes of the recent Pelagic *Sargassum* blooms events in the tropical North Atlantic Ocean. *Biogeosciences Discussions* 1-20. DOI:10.5194/BG-2017-346
- ELLIOT, J. M. 1971. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. *Fresh Water Biological Association Scientific Publication* 25: 144.
- FARLOW, W. G. 1914. The vegetation of the Sargasso Sea. *Proceedings of the American Philosophical Society* 53 (215): 257-262.
- FERNÁNDEZ, F., C. J. BOLUDA, J. OLIVERA & L. A. GUILLERMO. 2017. Análisis elemental prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la República Dominicana durante 2015. *Centro Azúcar* 44: 11-22.
- GAVIO, B., M. N. RINCÓN-DÍAZ & A. SANTOS-MARTÍNEZ. 2015. Massive quantities of pelagic *Sargassum* on the shores of San Andres island, Southwestern Caribbean. *Acta Biológica Colombiana* 20: 239-241.
- GAILLON, B. 1828. Résumé méthodique des classifications des Thalassiphytes. *Dictionnaire des Sciences Naturelles [Levrault]* 53: 350-406.
- GOUVÉA, L. P., J. ASSIS, C. F. D. GURGEL, E. A. SERRÃO, T. C. L. SILVEIRA, R. SANTOS, C. M. DUARTE, L. M. C. PERES, V. F. CARVALHO, M. BATISTA, E. BASTOS, M. N. SISSINI & P. A. HORTA. 2020. Golden carbon of *Sargassum* forests revealed as an opportunity for climate change mitigation. *Science of the Total Environment* 729: 138745.
- GOVINDARAJAN, A.F., L. COONEY, K. WHITTAKER, D. BLOCH, R. M. BURDORF, S. CANNING, C. CARTER, S. M. CELLAN, F. A. A. ERIKSSON, H. FREYER, G. HUSTON, S. HUTCHINSON, K. McKEEGAN, M. MALPANI, A. MERKLE-RAYMOND, K. OUELLETTE, R. PETERSEN-ROCKNEY, M. SCHULTZ & A.N.S. SIUDA. 2019. The distribution and mitochondrial genotype of the hydroid *Aglaophenia latecari-nata* is correlated with its pelagic *Sargassum* substrate type in the tropical and subtropical western Atlantic Ocean. *PeerJ*. 7: e7814.
- GOWER, J., E. YOUNG & S. KING. 2013. Satellite images suggest a new *Sargassum* source region in 2011. *Remote Sensing Letters* (4): 764-773.
- HERRERA, W. 1986. *Clima de Costa Rica: Vegetación y clima de costa Rica*. San José, EUNED. 120 p.
- HU, C., B. MURCH, B. B. BARNES, M. WANG, J-P. MARÉCHAL, J. FRANKS, D. JOHNSON, B. LAPOINTE, S. DEBORAH, J.M. SCHELL & A. N. S. SIUDA. 2016. *Sargassum* Watch warns of incoming seaweed. EOS 97. DOI:10.1029/2016E0058355
- IMN (INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL). 2020. *Clima de Costa Rica: el clima y las regiones climáticas de Costa Rica*. Disponible en línea en: <https://www.imn.ac.cr>. (consultado el 10 octubre 2020).
- JOHNSON, D. R., D.S. KO, J. S. FRANKS, P. MORENO & G. SÁNCHEZ-RUBIO. 2013. The *Sargassum* invasion of the Eastern Caribbean and dynamics of the Equatorial North Atlantic. *Proceed GCFI* 65:102-103.
- JOHNS, E. M., R. LUMPKIN, N. F. PUTMAN, R. H. SMITH, F. E. MULLER-KARGER, D.T. RUEDA-ROA, C. HU, M. WANG, M. T. BROOKS, L. J. GRAMER & F. E. WERNER. 2020. The establishment of a pelagic *Sargassum* population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography* 182. DOI: 10.1016/j.pocean.2020.102269
- KINDER, T. H. 1983. Shallow currents in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico as observed with satellite-tracked drifters. *Bulletin of Marine Science* 33: 239-246.
- LANGIN, K. 2018. Seaweed masses assault Caribbean islands. *Science* 360: 1157-1158.
- LITTLER, D. S. & M. M. LITTLER. 2000. *Caribbean Reef Plants. An Identification Guide to the Reef Plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico*. Off Shore Graphics, Washington DC. 542 p.
- LITTLER, D. S., M. M. LITTLER & M. D. HANISAK. 2008. *Submersed plants of the Indian River Lagoon*. Offshore Graphics: Washington, D.C., 286 p.
- LOUIE, C., J. FORTUNE & G. GERVAIS. 2017. *Sargassum* invasion of coastal environments: a growing concern. *American Journal of Environmental Sciences* 13 (1): 58-64.
- MANSFIELD, K. L., M. L. MENDILAHARSU, N. F. PUTMAN, M. A. MARCOVALDI, A. E. SACCO, G. LÓPEZ, T. PIRES & Y. SWIMMER. 2017. First satellite tracks of South Atlantic sea turtle 'lost years': seasonal variation in trans-equatorial movement. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284: 20171730. DOI:10.1098/rspb.2017.1730
- MARÉCHAL, J. P., C. HELLIO & C. HU. 2017. A simple, fast, and reliable method to predict *Sargassum* washing ashore in the Lesser Antilles. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 5: 54-63. DOI:10.1016/J.RSASE.2017.01.001
- MILLEDGE, J. J. & P. J. HARVEY. 2016. Golden tides: Problem or golden opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering* 4:60.
- MILLEDGE, J. J., S. MANEIN, E. A. LÓPEZ & D. BARTLETT. 2020. *Sargassum* inundations in Turks and Caicos: methane potential and proximate,

- ultimate, lipid, amino acid, metal and metalloid analyses. *Energies* 13: 1523.
- MOREIRA, A. & G. ALFONSO. 2013. Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen en la costa centro-sur de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 33 (2): 17-20.
- MOREIRA, L., R. CABRERA & A. M. SUÁREZ. 2006. Evaluación de la biomasa de macroalgas marinas del género *Sargassum* C. Agardh (Phaeophyta, Fucales). *Revista de Investigaciones Marinas* 27 (2): 115-120.
- MOREL, A., H. CLAUSTRE & B. GENTILI. 2010. The most oligotrophic subtropical zones of the global ocean: similarities and differences in terms of Chlorophyll and yellow substance. *Biogeosciences Discuss* 7: 3139-3151.
- MIRON, P., M. J. OLASCOAGA, F. J. BERON-VERA, J. TRIÑANES, N. F. PUTMAN, R. LUMPKIN & G. J. GONI. 2020. Clustering of marine -debris- and *Sargassum*-like drifters explained by inertial particle dynamics. *Geophysical Research Letters* 47(19): e2020GL089874. DOI:10.1029/2020GL089874
- MURRILLO, L. M. 2001. Las mareas en Costa Rica. *Inter Sedes* 2 (2-3): 93-108.
- NÚÑEZ-RESÉNDIZ, M. L., K. M. DRECKMANN, A. SENTÍES, M. J. WYNNE & H. P. LÉON-TEJERA. 2019. Marine red algae (Rhodophyta) of economic use in the algal drifts from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Phytotaxa* 387: 219-240.
- OVIATT, C. A., K. HUIZENGA, C. S. ROGERS & W. J. MILLER. 2019. What nutrient sources support anomalous growth and the recent *Sargassum* mass stranding on Caribbean beaches? A review. *Marine Pollution Bulletin* 145: 517-525.
- PARR, A. E. 1939. Quantitative observations on the pelagic *Sargassum* vegetation of the Western North Atlantic. *Bulletin of the Bingham Oceanographic Collection* 6 (7): 1-94.
- PUTMAN, N. F., G. J. GONI, L. J. GRAMER, C. HU, E. M. JOHNS, J. TRINANES & M. WANG. 2018. Simulating transport pathways of pelagic *Sargassum* from the equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography* 165: 205-214.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E., B. I. VAN TUSSENBROEK & E. JORDÁN-DAHLGREN. 2016. Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015). In: García-Mendoza, E., S. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz, E. J. Núñez-Vázquez (eds.). *Florecimientos algales nocivos en México*. CICESE, Ensenada, México, pp. 352-365.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R. E., P. D. ROY, N. TORRESCANO-VALLE, N. CABANILLAS-TERÁN, S. CARRILLO-DOMÍNGUEZ, L. COLLADO-VIDES, M. GARCÍA-SÁNCHEZ & B. I. VAN TUSSENBROEK. 2020. Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019. *PeerJ* 8: e8667 DOI:10.7717/peerj.8667
- SHELL, J. M., D.S. GOODWIN & A. N. S. SLUDA. 2015. Recent *Sargassum* inundation events in the Caribbean: Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. *Oceanography* 28 (3): 8-10.
- SIEGEL, S. 1972. *Diseño experimental no paramétrico aplicado a la ciencia de la conducta*. Edición Revolucionaria 2da Edición. 346 pp.
- SISSINI, M.N., M. B. B. DE BARROS BARRETO, M.T.M. SZÉCHY, M.B. DE LUCENA, M.C. OLIVEIRA, J. GOWER, G. LIU, E. DE OLIVEIRA BASTOS, D. MILSTEIN, F. GU-
SMAO, J. E. MARTINELLI-FILHO, C. ALVES-LIMA, P. COLEPICCOLO, G. AMEKA, K. DE GRAFF-JOHNSON, L. GOUVEA, B. TORRANO-SILVA, F. NAUER, J. MARCOS DE CASTRO NUNES & J. B. BARUFI. 2017. The floating *Sargassum* (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean – likely scenarios. *Phycologia* 56 (3): 321-328.
- SMETACEK, V. & A. ZINGONE. 2013. Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature* 504: 84-88.
- TAYLOR, W. R. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas*. Ann Arbor: The University of Michigan Press. 870 p.
- THIERS, B. 2020. *Index herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff*. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. Available online at: <http://sweetgum.nybg.org/science/ih/> (downloaded March 20, 2021).
- TORRES-CONDE, E. G. & B. MARTÍNEZ-DARANAS. 2019. Lista de especies de las arribazones de macrofitobentos en cinco playas de Habana del Este, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 39 (1): 147-147.
- TORRES-CONDE, E. G. & B. MARTÍNEZ-DARANAS. 2020. Oceanographic and spatio-temporal analysis of pelagic *Sargassum* drifts in Playas del Este, La Habana, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas* 40 (1): 47-66.
- UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME). 2018. “*Sargassum* white paper - *Sargassum* outbreak in the Caribbean: Challenges, opportunities and regional situation.” UNEP (DEPI)/CAR WG.40/ INF8. Adopted at 8th Meeting of the Scientific and Technical Advisory Committee (STAC) to the Protocol Concerning Specially Protected Areas and Wildlife (SPA) in the Wider Caribbean Region, Panama City, Panama, 5-7 December 2018. 14 pp.
- VAN-TUSSENBROEK, B. I., H. A. HERNÁNDEZ-ARANA, R. E. RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, J. ESPINOZA-AVALOS, H. M. CAÑIZALES-FLORES, C. E. GONZÁLEZ-GODOY, M. G. BARBA-SANTOS, A. VEGA-ZEPEDA & L. COLLADO-VIDES. 2017. Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin* 122: 272-281.
- VARGAS, G. 2006. Geografía de Costa Rica, San José, UNED.
- WANG, M. & C. HU. 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. & C. HU. 2017. Predicting *Sargassum* blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations. *Geophysical Research Letters* 44 (7): 3265-3273.
- WANG, M., C. HU, B. B. BARNES, G. MITCHUM, B. LAPOINTE & J. P. MONTOYA. 2019. The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science* 365: 83-87.
- WINGE, O. 1923. *The Sargasso Sea, its boundaries and vegetation*. Report on the Danish Oceanographical Expeditions 1908-10 to the Mediterranean and Adjacent Seas. Volume III: Miscellaneous Papers. Carlsberg Physiological Laboratory, Copenhagen, Denmark. 33 p.
- WYNNE, M. J. 2017. A Checklist of Benthic Marine Algae of the Tropical and Subtropical Western Atlantic: Fourth Revision. *Nova Hedwigia* 145: 1-202.