

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/342927922>

Oceanographic and spatio-temporal analysis of pelagic Sargassum drifts in Playas del Este, La Habana, Cuba

Article · July 2020

CITATIONS

12

READS

665

2 authors:



[Eduardo Gabriel Torres-Conde](#)

Universidad Nacional Autónoma de México

21 PUBLICATIONS 55 CITATIONS

SEE PROFILE



[Beatriz Martínez-Daranas](#)

University of Havana

113 PUBLICATIONS 720 CITATIONS

SEE PROFILE

ARTICULO ORIGINAL

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL Y OCEANOGRÁFICO DE LAS ARRIBAZONES DE SARGASSUM PELÁGICO EN LAS PLAYAS DEL ESTE DE LA HABANA, CUBA

Oceanographic and spatio-temporal analysis of pelagic *Sargassum* drifts in Playas del Este, La Habana, Cuba

Eduardo Gabriel Torres-Conde^{1*} y Beatriz Martínez-Daranas¹

¹ Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana, calle 16 No.114, Playa, CP11300, La Habana, Cuba.

* Autor para correspondencia:
etorresconde2@gmail.com

RESUMEN

Desde el año 2011 el Caribe ha experimentado un influjo masivo de arribazón de *Sargassum* pelágico, el cual ha provocado daños no solo en el sector turístico sino también en la estructura de los ecosistemas costeros. Para conocer el estado de las arribazones en el litoral este de la Habana se realizó un estudio, entre mayo/2018 y mayo/2019, en cinco playas de Habana del Este. Se ubicaron transectos (50 m) paralelos a la línea costera y, en puntos aleatorios previamente estimados, un marco cuadrado de 25 x 25 se trasladó perpendicularmente al transecto hasta abarcar el ancho de franja de arribazón en el mesolitoral. Posteriormente, se pesó la biomasa de sargazo en cada punto y se estimó la biomasa en peso seco. La biomasa seca total fue baja (1372 kg) con respecto a otras zonas de Cuba y el Caribe. Los mayores valores de biomasa seca y de ancho de banda de arribazón coincidieron con el período de seca en Cuba. Esta estación estuvo relacionada con la presencia de frente fríos y con una magnitud promedio negativa del índice de Oscilación del Ártico (-0.05), y una magnitud promedio positiva del índice de Oscilación del Atlántico Norte (0.15). Las playas con forma relativamente lineal (1188 kg) reportaron mayor biomasa de arribazón que las de forma de herradura (174 kg). Se presentaron las mayores arribazones con velocidades del viento superiores a los 35 km/h⁻¹, fundamentalmente desde el componente norte, altura de las olas mayores de 1.5 m y con temperaturas inferiores a 30°C.

PALABRAS CLAVE: biomasa, frentes fríos, índice de Oscilación del Ártico, temperatura, vientos.

Recibido: 8.1.2020

Aceptado: 1.7.2020

ABSTRACT

Since 2011, the Caribbean has experienced a massive influx of drifting pelagic *Sargassum*, which has caused damage not only in the tourism sector but also in the structure of coastal ecosystems. To know the status of drifting pelagic *Sargassum* on the east littoral of Havana, a study was performed from May/2018 through May/2019 in five beaches of East Havana. Transects (50 m) were located parallel to the shoreline and, in points previously estimated, a quadrant of 25 x 25 cm was flipped perpendicularly to the transect until covering the width of the strip of drift pelagic *Sargassum* in the intertidal zone. Then, pelagic *Sargassum* biomass was weighted in every point, and the dry weight biomass was estimated. The total dry biomass (1372 kg) was low with respect to other areas of Cuba and the Caribbean. In addition, the highest values coincided with the winter season in Cuba. This season was related to the presence of cold fronts, a negative average magnitude of the Artic Oscillation index (-0.05) and a positive average magnitude of the North Atlantic Oscillation index (0.15). The beaches with a relative lineal shape (1188 kg) reported higher drifting biomass than the beaches with a horseshoe shape (174 kg). The highest accumulations were recorded with wind velocity above 35 km/h⁻¹, fundamentally from the north component, wave height above 1.5 m and with temperatures below 30°C.

KEY WORDS: biomass, cold fronts, Artic Oscillation index, temperature, winds.

INTRODUCCIÓN

El sargazo pelágico está compuesto por dos especies *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen y *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon, las cuales forman agrupaciones dispersas y se reproducen vegetativamente en el océano abierto, sin necesidad de un sustrato (Areces *et al.*, 1993). Este sargazo flotante ha sido observado históricamente en una extensa zona del Atlántico Central Tropical, situado entre las costas

de las Antillas y del norte de África, llamado Mar de los Sargazos (Areces *et al.*, 1993). Esta aglomeración ha sido reportada incluso por las embarcaciones en las que Cristóbal Colón llegó a las Américas el 17 de septiembre 1492. Sin embargo, a nivel regional, la biomasa promedio registrada en los últimos años en el Caribe ha sido 200 veces mayor a la históricamente reportada (Grower *et al.*, 2013). Varios autores en sus artículos han reportado la incidencia de este fenómeno para diferentes zonas del Atlántico. Smetacek y Zingone (2013), en el 2011, consignaron un influjo masivo 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. En el 2012, se informó la llegada atípica de estas algas en la costa sur de Cuba (Moreira & Alfonso, 2013), cuyos daños en el sector turístico fueron notables. En el 2014, otras islas y países del Caribe comenzaron a ser afectados (Gavio *et al.*, 2015). Durante el 2015, entre los meses de junio y julio, en la Península de Guanahacabibes (sur de Cuba), se reportó una arribazón de *S. fluitans* de 1.5 m de alto que afectó, en un 50%, el éxito de anidación de las tortugas (Azanza & Pérez, 2016). Para el Caribe mexicano, se ha confirmado, en julio y agosto del 2015, un promedio de hasta 9726 m³ por mes y por km de línea costera (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). En el 2019 se alcanzó la cifra record de 365 km² de cobertura de sargazo con respecto al promedio reportado entre los años 2011 y 2017 (33 km²) (Mendez-Tejeda & Rosado-Jiménez, 2019). El arribo masivo de *Sargassum* pelágico ha provocado daños no solo económicos en la línea costera, sino también en los ecosistemas cercanos a la misma. Según van Tussenbroek *et al.*

(2017), los ecosistemas de pastos marinos y arrecifes coralinos, cercanos a las costas, han sufrido cambios en su estructura y abundancia. Esto ha ocurrido debido a las condiciones de hipoxia, la alta concentración de materia orgánica y la baja luminosidad que traen consigo las mareas marrones de *Sargassum* pelágico, según estos autores. Esta situación ha provocado alarma en la comunidad científica, varios estudios y proyectos se han y se están realizando para darle solución o al menos mitigar los efectos del ya considerado fenómeno ambiental.

Las observaciones satelitales de las masas de sargazo pelágico (Grower *et al.*, 2013), junto a modelos de información retrospectiva de los sitios de arribazón (Johnson *et al.*, 2013), han indicado que la cobertura del Mar de los Sargazos no ha tenido un cambio significativo en los años donde se ha producido un incremento de arribazones en el Caribe. Wang *et al.* (2019), en coincidencia con los anteriores autores, ha planteado que desde el año 2011 se ha formado un cinturón de sargazo en el Atlántico. Este cinturón se extiende desde el occidente africano hasta el golfo de México con 8850 km de largo y más de 20 millones de toneladas de biomasa. La formación de dicho fenómeno ha sido atribuida al aporte de nutrientes provenientes del afloramiento del occidente africano, de la cuenca del río Amazonas, del polvo del Sahara y de la eutrofización de las aguas del Caribe (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016; Serebryakova *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019).

Mendez-Tejeda y Rosado-Jiménez (2019) profirieron que los dos principales factores climáticos que influyen en el movimiento de sargazo hacia el Caribe son el Anticiclón de Azores y los vientos alisios. En adición, estos autores comentaron la contribución de la

corriente de Brazil, así como la Región de Recirculación del Norte Ecuatorial (NERR siglas en inglés) en este proceso. Brooks *et al.* 2018 mencionan un ciclo estacionario entre el Mar de los Sargazos, el golfo de México y la región sur del Atlántico, el cual es mediado por el viento y la eutrofización de las aguas. Para Cuba, Moreira *et al.* 2006, Zuñiga (1996) y Pazos *et al.* (1996), han reportado arribazones para Cayo Coco, en la región norocentral del archipiélago cubano, con velocidades del viento entre 11-19 km/h⁻¹, presencia de frente fríos, dirección del viento fundamentalmente de componente norte, olas superiores a 5 m y la presencia del Anticiclón Continental. Aunque, según estos autores, las arribazones son más frecuentes en el sur debido a que los vientos de componente sur tienden a ser predominantes y más fuertes a lo largo del año.

En los últimos años se ha comenzado a estudiar el efecto de los índices de variación atmosférica, sobre la situación meteorológica/oceanográfica, y el movimiento de organismos pelágicos en el Atlántico. Prieto *et al.* (2015) realizó un estudio sobre el efecto del índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAOi siglas en inglés) en el movimiento de *Physalia physalis* Linnaeus, 1758 en la región este del Atlántico y el Mediterráneo. Por otra parte, Mendez-Tejeda y Rosado-Jiménez (2019) evaluaron el efecto de este índice en la distribución del *Sargassum* pelágico en el Caribe. Cedeño (2015) planteó la estrecha relación entre el índice de Oscilación del Ártico (AOi siglas en inglés) y la frecuencia e intensidad de los frentes fríos. Este último índice no ha sido empleado para evaluar la dispersión de *Sargassum* pelágico en Cuba y el Caribe. Ambos índices (AOi y NAOi) son medidas de la variabilidad en el hemisferio norte de la presión atmosférica, y caracterizan por anomalías en la presión de magnitudes

positivas y negativas. Además, el origen de estas variaciones está relacionado con complejas interacciones entre la atmósfera, el océano y los hielos polares que aún presentan vacíos de información.

Desde el año 2011, cuando comenzaron las arribaciones masivas en el Caribe, no se han realizado trabajos sobre la cantidad de biomasa de *Sargassum* pelágico que ha invadido el litoral norte de Cuba. El último estudio realizado en esta zona fue el de Moreira *et al.* (2006), el cual se llevó a cabo en la region norte-central de la Isla. Por esa razón, para conocer el estado de

algunas playas en la zona de Habana del Este, se trazó el siguiente objetivo:

Evaluar la variación espacio-temporal de las arribaciones de *Sargassum* pelágico en las playas de Habana del Este, en la costa noroccidental de Cuba, así como relacionar la biomasa arribada con los parámetros meteorológicos/oceanográficos vigentes en el período que abarca el estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Se seleccionaron cinco playas ubicadas en el Municipio Habana del Este, en la costa

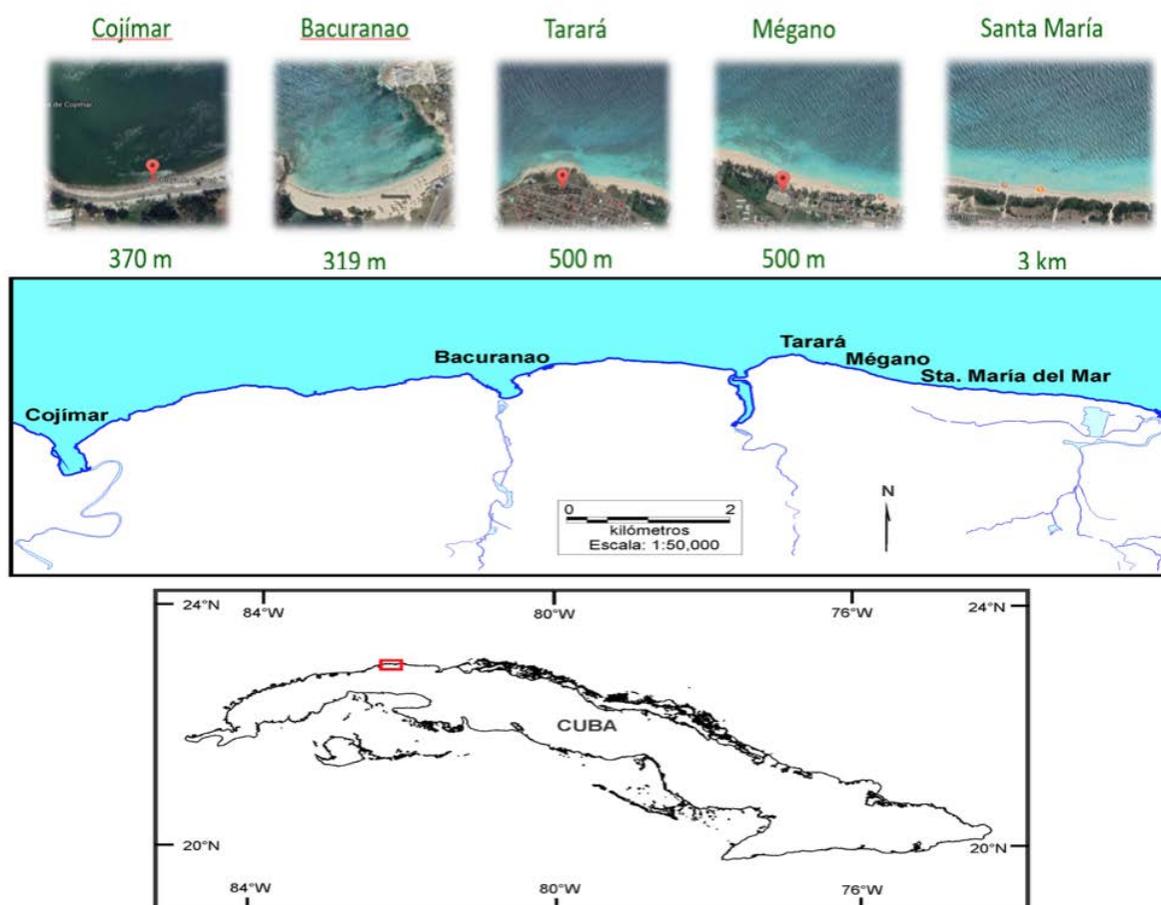


Fig. 1. Área de estudio, mostrando las diferentes playas estudiadas en el litoral este de la Habana. Fuente: Torres-Conde y Martínez-Daranas, (2019).

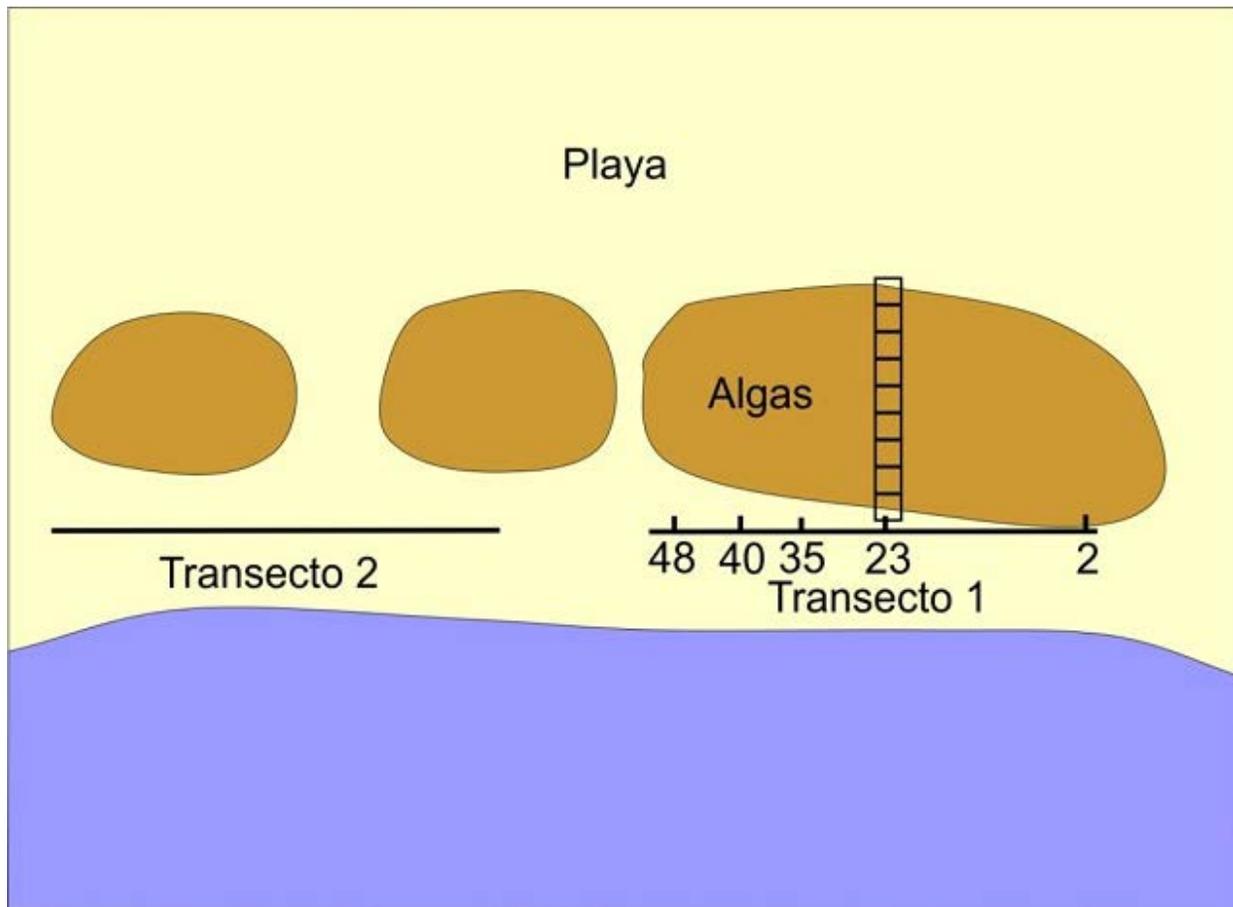


Fig. 2. Planteamiento de muestreo propuesto. Fuente: Torres-Conde y Martínez-Daranas, (2019).

norte occidental de Cuba (Fig. 1). Estas poseen características físicas, geográficas, recreativas y ambientales para el esparcimiento de la comunidad cercana (Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000). Las playas elegidas fueron:

A. Cojímar: Ocupa una extensión de 370 m; se encuentra situada a 7.5 km al este de la boca de la bahía de La Habana, en los 23°09'47" N y los 82°17'38" O. Esta posee forma de herradura y se caracteriza por presentar una arena de color gris parduzca (Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000). Es un área altamente contaminada, consecuencia del mal manejo de la zona y del desagüe del río homónimo.

Este río tiene un notable nivel de contaminación por los desechos que vierten las fábricas o directamente de las personas aledañas al área (Ramos *et al.*, 2005).

B. Bacuranao: Ocupa una extensión de 319 m. Se encuentra a 12 km al este de la boca de la bahía de La Habana. Esta se encuentra en los 23° 10'36" N y los 82° 14'30" O. Además, la playa presenta forma de herradura y se caracteriza por presentar una arena de color gris parduzca y la desembocadura del río Bacuranao (Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000).

C. Tarará: Tiene una franja costera de 500 m. Se encuentra a 16 km al este de la boca de la bahía de La Habana.



Fig. 3. Fotografías de las arribazones en las cinco playas muestreadas A) Cojimar, B) Bacuranao, C) Tarará, D) Mégano, E) Santa María. Fuente: Torres-Conde y Martínez-Daranas, (2019).

Esta se encuentra en los 23°10'50" N y los 82°12'11" O. Además, la playa presenta forma relativamente lineal y es caracterizada por ser una atracción turística por su arena fina (Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000).

D. Mégano: Tiene una extensión de 500 m. Se encuentra a 17 km al este de la boca de la bahía de La Habana. Esta se encuentra en los 23°10'45" N y los 82°11'53" O. La playa presenta forma relativamente lineal y está contigua a la playa de Tarará. Se caracteriza por su arena fina y es una atracción turística (Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000).

E. Santa María del Mar: Tiene 3 km de extensión costera y se encuentra contigua a la playa de Mégano. Está localizada a 18.5 km al este de la boca de la bahía de La Habana. Se encuentra en los 23°10'41" N y los 82°11'42" O. Presenta una forma

relativamente lineal y es una de las playas más cotizadas por los bañistas gracias a su arena fina. Además, cuenta con la presencia de dunas y de instalaciones turísticas y recreativas (Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000). De esta última se seleccionó una franja de 500 m para este estudio.

TOMA DE MUESTRAS

El muestreo se realizó mensualmente, de mayo del 2018 a mayo del 2019, con una estación en cada una de las cinco playas. Para medir la longitud de la playa se siguió el método empleado por Areces *et al.* (1993), modificado de acuerdo a las características de las playas. Las mediciones se realizaron con una cinta métrica y con la ayuda de un mapa, a partir de las coordenadas tomadas con un GPS, mediante el programa MapInfo Professional 10.5. Se

ubicaron transectos de 50 m equidistantes (5 m entre cada uno), paralelos a la línea de la costa. De este modo, se abarcó aproximadamente el 75 % de la longitud de la playa. Se ubicaron cinco transectos para Cojímar y Bacuranao y siete para Tarará, Mégano y Santa María del Mar. La diferencia de transectos se debió al largo de las playas. Se usó una tabla de números aleatorios, estimados antes de ir al campo, para escoger cinco puntos de cada transecto donde se realizaron los muestreos. En cada punto, se ubicó un marco cuadrado de 25 x 25 cm en el inferior de la zona mesolitoral. El marco cuadrado fue trasladado perpendicularmente al transecto, tantas veces como fue necesario, para abarcar el ancho de la franja de arribazón. Posteriormente, se anotó el número de marcos cuadrados. Esta variable nos informó del ancho de la banda ocupada por el sargazo en el mesolitoral. En cada punto se tomó toda la biomasa de sargazo que cayó dentro de los marcos. Se pesó la biomasa húmeda *in situ* con una balanza manual de resorte y posteriormente se secó en una estufa a 60°C, durante 6-10 horas, hasta que se obtuvo el peso seco en una balanza técnica. Se recolectaron 20 especímenes del *Sargassum* pelágico a lo largo del período de muestreo para su identificación en el laboratorio. Se identificaron las especies con el empleo de la literatura especializada (Taylor, 1960; Littler & Littler, 2000; Littler *et al.*, 2008). La descripción de los morfotipos se realizó mediante el criterio de Schell *et al.* (2015).

Se obtuvieron los datos del viento (dirección y velocidad), la altura de las olas y la temperatura de siete días anteriores a cada muestreo en la zona de estudio, del sitio web Windguru (<https://www.windguru.cz/>).

Esta información se origina a partir del modelo GFS (Global Forecast System) con una resolución de 27 km, que proporciona los valores cada cuatro tramos por día. Se anotaron los estados sinópticos que aparecen en los Resúmenes Mensuales del sitio del Instituto de Meteorología (<http://www.insmet.cu/>).

En adición, los índices de Oscilación del Atlántico Norte (NAOI siglas en inglés) y los índices de Oscilación del Ártico (AOi siglas en inglés) mensuales fueron obtenidos de la base de datos del Centro de Predicción del Estado Climático de los Estados Unidos (www.cpc.ncep.noaa.gov).

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se calcularon los porcentajes de biomasa seca de *Sargassum* pelágico, lo cual representó la cantidad arribada por playas y por meses. Posteriormente, se analizó la variación temporal (entre meses) y espacial (entre playas) de las medias calculadas. Para evaluar la normalidad de los datos se emplearon las pruebas de Kolmogorov Smirnov y Lilliefors. Al no cumplir con las premisas de acuerdo con las pruebas mencionadas, se realizó una prueba no paramétrica de múltiples grupos independientes de Kruskal-Wallis por Rangos. Para analizar las diferencias entre pares de medias con correlación de múltiples pruebas, se utilizó un Pairwise Wilcoxon de Suma de Rangos y un ajuste de Holm.

Para explorar la relación entre la biomasa seca de sargazo con las variables meteorológicas y oceanográficas, se utilizó un Análisis de Componentes Principales (PCA siglas en inglés). Se promediaron los valores de biomasa seca de *Sargassum* pelágico (variable respuesta) para toda el área muestreada y se utilizaron los máximos valores

de las variables meteorológicas/oceanográficas, por mes. Se usó la dirección del viento predominante por mes. Fueron calculadas las medias de biomasa seca por mes para cada playa, y para evaluar su relación con el número de frentes fríos y la temperatura, se realizó un análisis de Correlación por Rangos de Spearman. Por otra parte, para estimar la relación de los índices de Oscilación del Atlántico Norte (NAOI siglas en inglés) y los índices de Oscilación del Ártico (AOi siglas en inglés) con el número de frentes fríos se llevó a cabo el mismo análisis. Todas las pruebas estadísticas fueron hechas con el software libre R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS

VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS ARRIBAZONES DE *SARGASSUM* PELÁGICO

La biomasa seca total de *Sargassum* pelágico fue de 1372 kg en un área muestreada de 1.5 km, en el año evaluado. La biomasa seca total por playa fue la siguiente: Cojímar: 30 kg, Bacuranao: 154 kg, Tarará: 355 kg, Mégano: 385 kg y Santa María del Mar: 448 kg, lo cual representó el 2 %, 11 %, 26 %, 28 % y el 33 % respectivamente. Se presentaron valores de ancho de banda de arribazón de hasta 48 marcos cuadrados (12 m) en las playas de Tarará, Mégano y Santa María. Esto no ocurrió así para las playas en forma de herradura, las cuales no superaron los 30 marcos cuadrados (7.5 m) de ancho de banda de arribazón. Se reportaron diferencias significativas para la biomasa seca de *Sargassum* pelágico ($N=1415$, $H=382.23$, $p < 2.2e-16$) (Fig. 4) y para el número de marcos cuadrados ($N=1415$, $H=39.11$, $p < 2.2e-16$) (Fig. 5) entre las

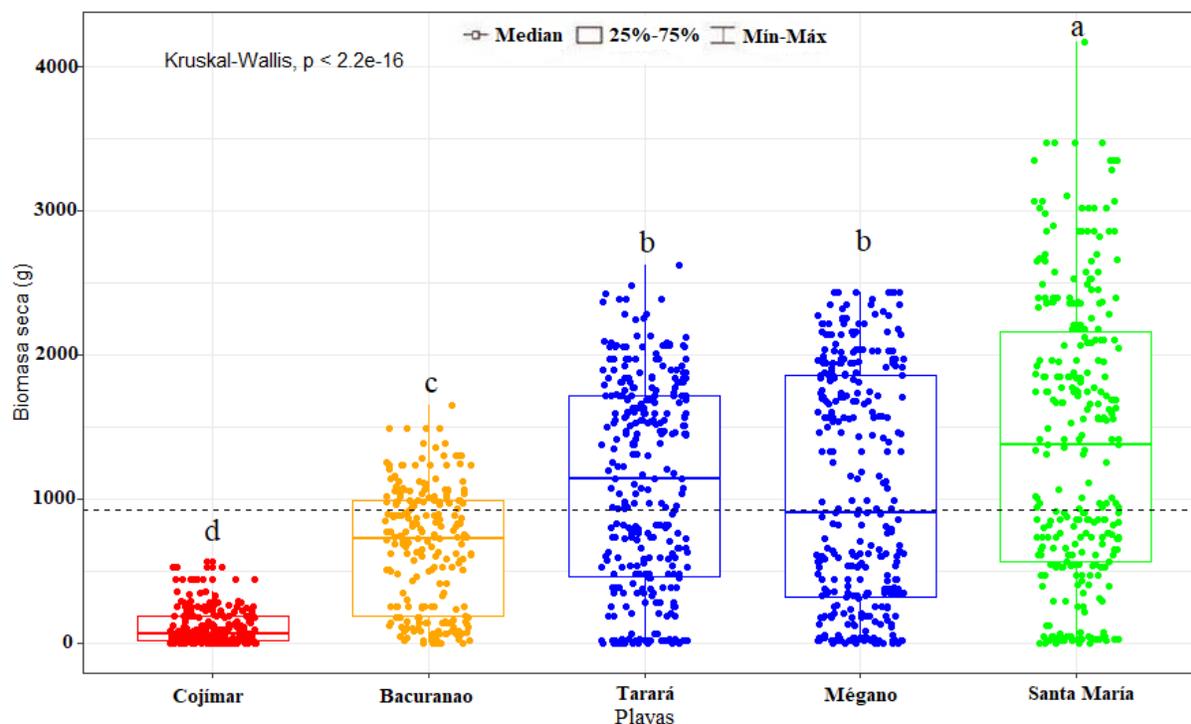


Fig. 4. Variación espacial (playas) de la biomasa seca (g) de *Sargassum* pelágico. Colores y letras diferentes representan diferencias significativas entre playas. Línea horizontal discontinua representa la media total de la biomasa seca.

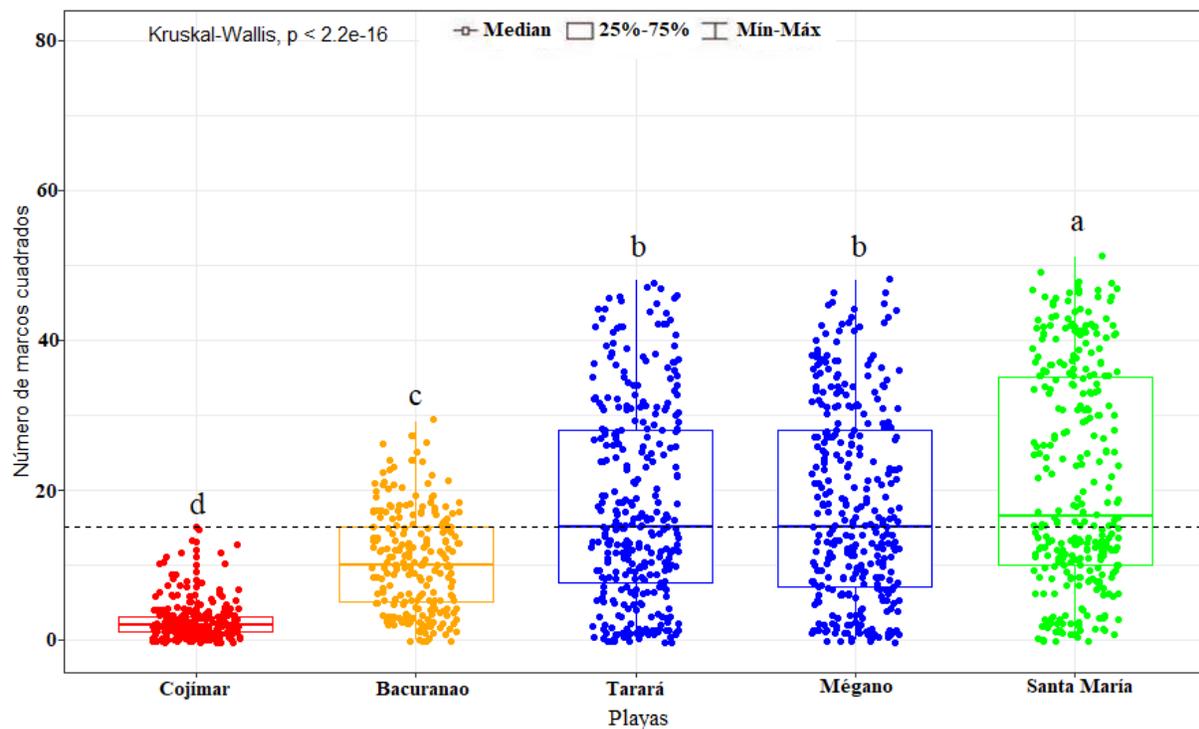


Fig. 5. Variación espacial (playas) del número de marcos cuadrados del ancho de banda de arribazón. Colores y letras diferentes representan diferencias significativas entre playas. Línea horizontal discontinua representa la media total del número de marcos cuadrados.

playas. Tanto para la biomasa seca como para el número de marcos cuadrados, se reportaron las mayores diferencias significativas para las playas Tarará, Mégano y Santa María, con los máximos en esta última.

Los meses que presentaron arribazones fueron: mayo/2018=144 kg, junio/2018=90 kg, julio/2018=4 kg, octubre/2018=81 kg, noviembre/2018=176 kg, diciembre/2018=286 kg, enero/2019= 237 kg, marzo/2019=303 kg y abril/2019=51 kg, lo cual representó el 10 %, 7 %, 0.29 %, 6 %, 13 %, 22 %, 17 %, 29 % y 4 % respectivamente. En el resto de los meses no se reportaron arribazones. Los meses de noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019, superaron los 38 marcos cuadrados (9.5 m) de ancho de banda de arribazón. El resto de los meses estuvieron por debajo de esa

cifra o no presentaron arribazón. Se encontraron diferencias significativas tanto para la biomasa seca de *Sargassum* pelágico (N=1415, H=731.2, $p < 2.2e-16$) (Fig. 6) como para el número de marcos cuadrados (N=1415, H=727.69, $p < 2.2e-16$) (Fig. 7) entre los meses. Los meses con las mayores diferencias significativas, tanto para la biomasa seca como para el número de marcos cuadrados, fueron noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019. Este último fue el mes que mayores valores reportó para ambas variables.

COMPOSICIÓN DEL *SARGASSUM* PELÁGICO

En este trabajo han sido identificadas las dos especies de *Sargassum* pelágico (*S. natans* (14 especímenes) y *S. fluitans* (seis especímenes)). Se reportaron tres morfotipos:

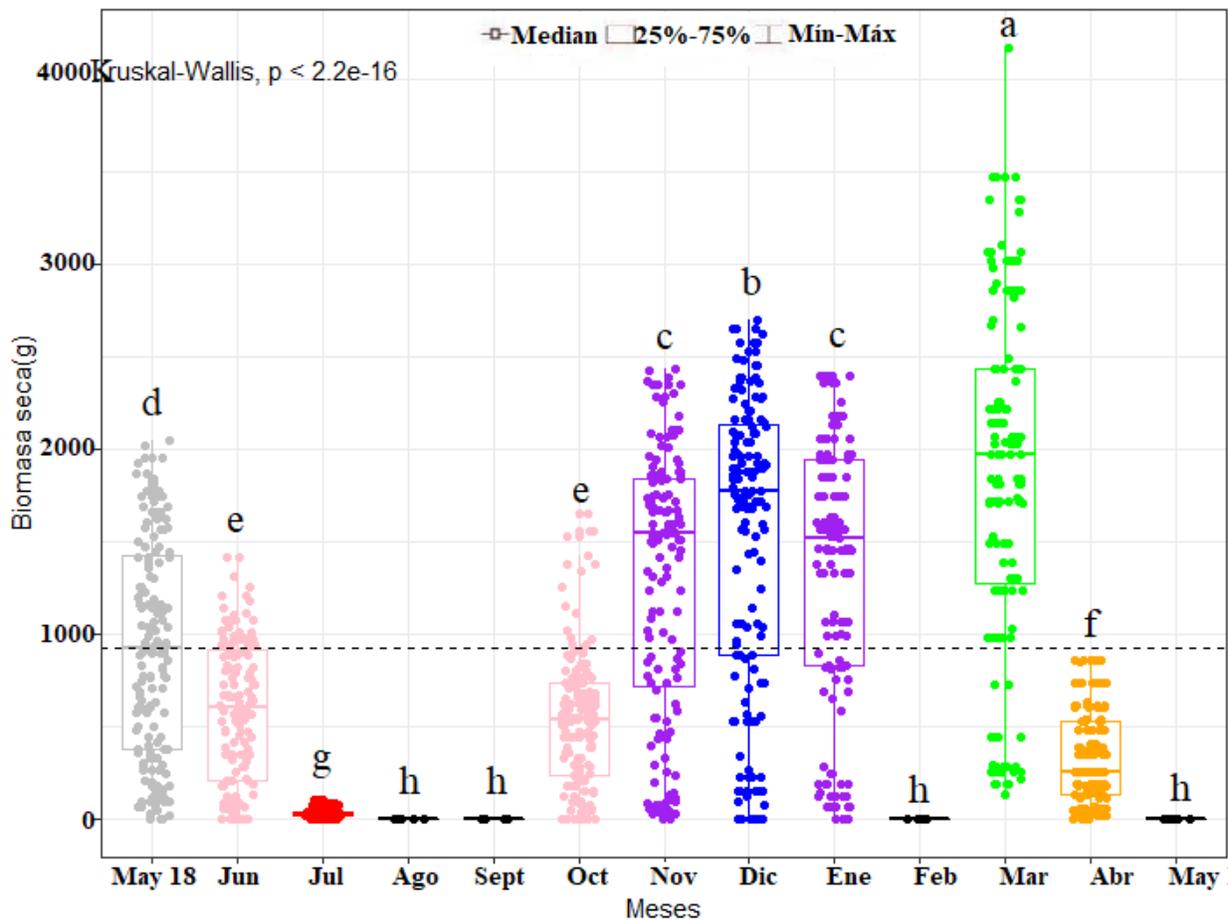


Fig. 6. Variación temporal (meses) de la biomasa seca (g) de *Sargassum pelágico*. Colores y letras diferentes representan diferencias significativas entre meses. Línea horizontal discontinua representa la media total de la biomasa seca.

Sargassum fluitans III Parr (seis especímenes), *Sargassum natans* I Parr (nueve especímenes) y *Sargassum natans* VIII Parr (cinco especímenes). *S. fluitans* III se caracteriza por presentar espinas en el estipe y ausencia de espinas en la vesícula de gas. *S. natans* I es un morfotipo de forma ligera y delgada, el cual posee un estipe liso y presenta espinas en las vesículas de gas (Fig. 8). *S. natans* VIII presentó características comunes a *S. fluitans* III y a *S. natans* I. Este presenta 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 la vesícula de gas (Fig. 9). Este morfotipo es fácilmente confundible con *S. fluitans*.

RELACIONES ENTRE LAS ARRIBAZONES Y LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS/OCEANOGRÁFICAS

Mediante el Análisis de Componentes Principales (PCA), se obtuvo para la variable respuesta (promedio de biomasa seca regional) que el viento (velocidad y dirección), la altura de las olas y la temperatura, tuvieron un rol importante en las arribazones de *Sargassum pelágico* (Fig. 10). Los valores de velocidad del viento por

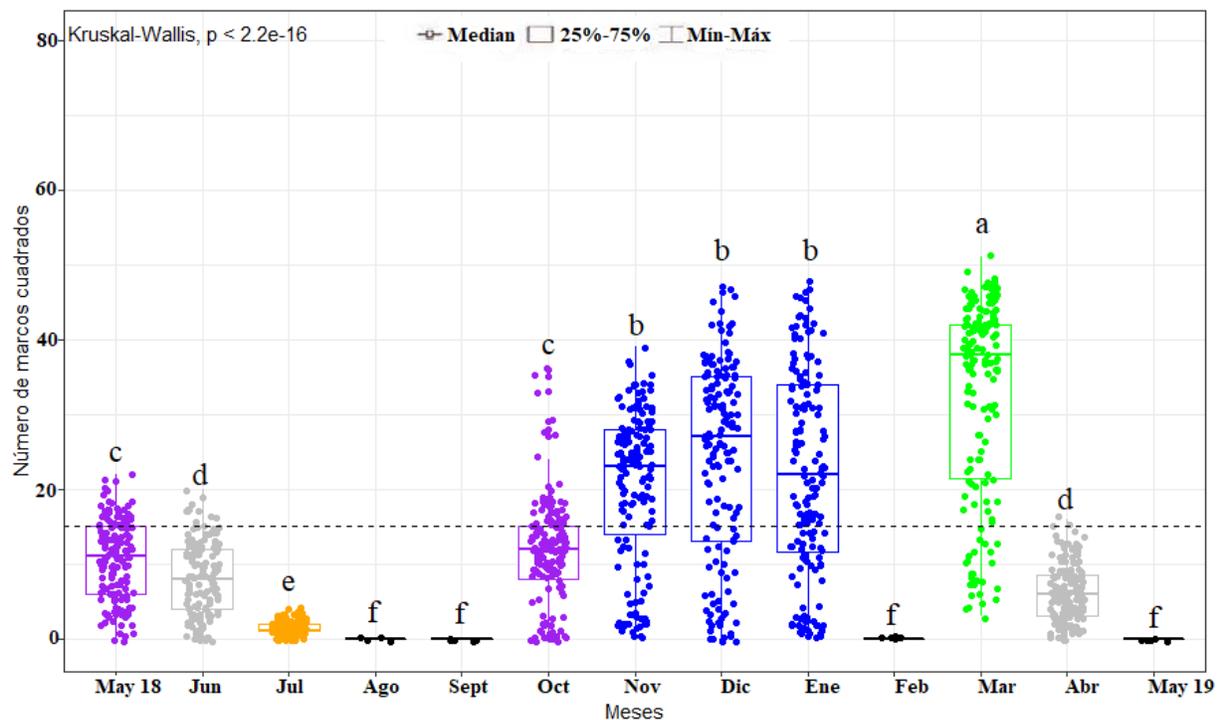


Fig. 7. Variación temporal (meses) del número de marcos cuadrados del ancho de banda de arribazón. Colores y letras diferentes representan diferencias significativas entre meses. Línea horizontal discontinua representa la media total del número de marcos cuadrados.

encima de los 35 km/h^{-1} , altura de las olas superiores a 1.5 m, dirección del viento fundamentalmente de componente norte, y temperaturas por debajo de los 30°C con valores mínimos de 17°C , coincidieron con los meses de mayor biomasa seca de arribazón (mayo/2018, noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019). El PCA explicó el 93.35 % de la variabilidad de acuerdo con las variables seleccionadas.

Debe consignarse que hubo un total de 18 frentes fríos en el año de estudio. La aparición de estos frentes fríos coincidió con los meses entre octubre/2018 y abril/2019 (Tabla 1). Las medias de la biomasa seca de sargazo estuvieron positivamente correlacionadas con el número de frentes fríos ($S=17288$, $p=3.2e-08$, $R=0.62$), y negativamente correlacionadas con la temperatura ($S=75162$, $p=7.9e09$, $R=-0.64$)

(Fig. 11). Además, fue encontrada una alta correlación negativa entre el número de frentes fríos y la temperatura ($S=83635$, $p=2.2e-16$, $R=-0.88$). Por otra parte, los AOi y los NAOi tuvieron un comportamiento mayormente positivo con respecto a otros años. La media de los AOi y los NAOi, en el período invernal, fue negativa (-0.05) y positiva (0.15) respectivamente. El AOi presentó una correlación negativa moderada ($S=73519$, $p=8.503e-08$, $R=-0.60$) con respecto al número de frentes fríos. Por otro lado, el NAOi presentó una correlación positiva moderada ($S=25069$, $p=0.000$, $R=0.45$) con respecto a la misma variable.

DISCUSIÓN

La biomasa seca total de *Sargassum* pelágico (1.34 Tm) fue sustancialmente inferior a los valores encontrados por Moreira *et al.*

Tabla 1. Cantidad de frentes fríos, la situación sinóptica, la biomasa seca total (kg), dirección predominante del viento, índice Oscilación del Ártico (AOi) e índice Oscilación del Atlántico Norte (NAOi) por mes durante el período de muestreo (mayo/18-mayo/19).

Meses	Número de frentes fríos	Situación sinóptica	Biomasa seca de <i>Sargassum</i> pelágico (kg)	Dirección predominante del viento	AOi	NAOi
mayo/18	0	Ciclón tropical Alberto	144	SSE	0.11	0.21
junio	0	No	90	ENE	0.37	0.10
julio	0	No	4	EN	0.61	0.13
agosto	0	No	0	ESE	0.83	0.19
septiembre	0	No	0	ESE	0.58	0.16
octubre	1	Huracán Michel, Frente frío	81	ENE	0.41	0.93
noviembre	2	Frente frío	176	ENN	-0.11	-0.11
diciembre	4	Frente frío	286	EN	0.10	0.61
enero	5	Frente frío	237	ENN	-0.71	0.59
febrero	1	Frente frío	0	ES	0.11	0.29
marzo	3	Frente frío	303	NNO	0.21	0.12
abril	2	Frente frío	51	ENE	-0.25	0.46
mayo/19	0	No	0	EN	-0.12	-0.26

(2006) en Cayo Coco, Cayo Romano, Cayo Sabinal y la playita de Santa Lucía (240 Tm, 500 Tm, 225 Tm y 300 Tm respectivamente). Estas playas están localizadas en el centro norte de Cuba. A pesar de que Moreira *et al.* (2006) estudiaron un área mucho más amplia (por encima de los 40 km), las arribazones en el litoral este de la Habana fueron muy inferiores en términos de biomasa seca. Extrapolando hipotéticamente los valores al área mínima con la que trabajaron estos autores (40 km) en la costa norte, la biomasa seca sería sólo de 52 Tm. Adicionalmente, se coincide con Moreira *et al.* (2006) en que la costa norte de Cuba presenta arribazones en cantidades menores a las que ha presentado la costa sur de Cuba. Estas últimas alcanzaron cifras mínimas de hasta 1900 Tm. Mucho menor fue la biomasa total de este estudio en comparación con los 9726 m³ de acumulación promedio de sargazo reportado, para el Caribe mexicano,

por Rodríguez-Martínez *et al.* (2016). Al parecer, el litoral de La Habana es uno de los puntos en la isla menos afectados por las afluencias de *Sargassum* pelágico, en comparación con otras zonas. Su posición geográfica la pudiera proteger de las grandes arribazones provenientes del NERR.

La distribución de *Sargassum* pelágico sobre la costa no fue homogénea, a pesar de ser playas con cierto grado de cercanía. Tarará, Mégano y Santa María del Mar presentaron los mayores valores y porcentajes de biomasa seca con respecto a Cojímar y Bacuranao, así como las mayores diferencias significativas en cuanto a la biomasa seca y al número de marcos cuadrados. Estas playas se diferencian en términos de geomorfología. Tarará, Mégano y Santa María del Mar presentan una forma relativamente lineal, mientras que Cojímar y Bacuranao poseen forma de herradura. Moreira *et al.* (2006) plantean que la geomorfología



Fig. 8. Imagen que muestra dos morfotipos de *Sargassum* pelágico. A la izquierda *S. natans* I y a la derecha *S. fluitans* III. Círculo verde representa presencia de espinas (en el estipe o en la vesícula). Círculo rojo representa ausencia de espinas (en el estipe o en la vesícula).

podría ser una condicionante y aspecto a tener en cuenta a la hora de evaluar la biomasa de arribazón de *Sargassum* pelágico en el litoral. Estos autores señalan que la

ubicación de las zonas, donde el aporte de arribazón resulta significativo, no es regular a lo largo del borde del litoral ni tiene una estacionalidad similar. Aparentemente,

las playas en forma de herradura pudiesen haber limitado la entrada de *Sargassum* pelágico a la línea costera. Por otro lado, las playas con relativa forma lineal, al estar más expuestas al viento y a las olas, presentaron mejores condiciones para el arribo de estas algas flotantes. Por lo tanto, esto pudo influir en la presencia de una mayor biomasa y cobertura de sargazo en el mesolitoral.



Fig. 9. Imagen que muestra un morfotipo de *Sargassum* pelágico: *S. natans* VIII. Círculo rojo representa ausencia de espinas en el estipe y en la vesícula de gas.

Las mayores arribazones de sargazo ocurrieron en el período de seca en Cuba, el cual

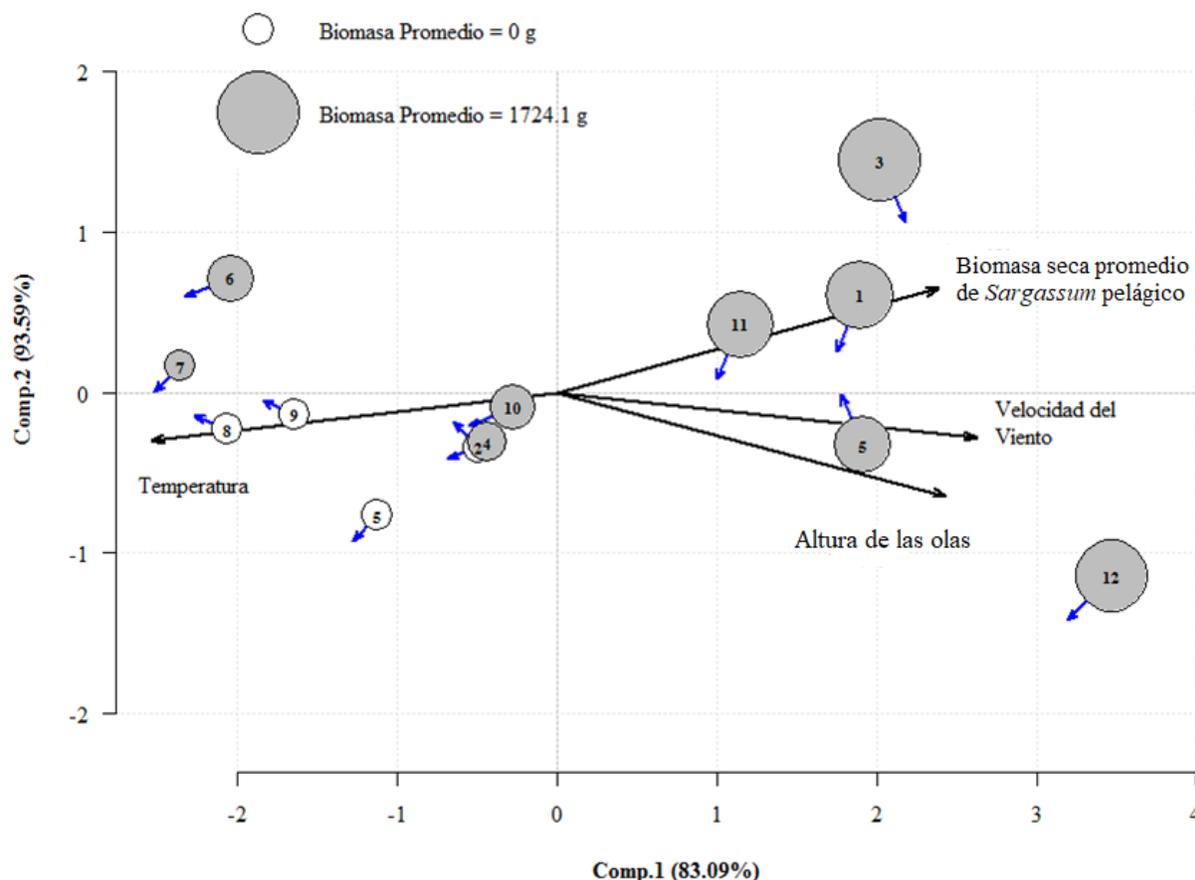


Fig. 10. Resultados del Análisis de Componentes Principales (PCA), mostrando la relación de las variables meteorológicas/ oceanográficas sobre la biomasa seca promedio de *Sargassum pelagicum* en toda la región estudiada de Habana del Este. El círculo blanco señala los meses donde no hubo arribazón de sargazo y el círculo gris señala los meses donde hubo arribazón. El tamaño del círculo señala la cantidad de biomasa seca de arribazón. Los números indican los meses (1-enero, 2-febrero, 3-marzo, 4-abril, 5-mayo, 6-junio, 7-julio, 8-agosto, 9-septiembre, 10-octubre, 11-noviembre, 12-diciembre). Las flechas negras indican la influencia de las variables sobre los ejes del PCA. Las flechas azules indican la dirección del viento. El porcentaje (Comp.1 83.09 % y Comp.2 93.59 %) indica cuanto de la variabilidad es explicada por el PCA.

incluye los meses entre noviembre y abril (Cedeño, 2015). En esta época son frecuentes los frentes fríos, las marejadas y fuertes vientos desde el componente norte (www.insmet.cu).

Los meses de noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019 registraron la mayor biomasa de arribazón. Se coincidió, en los meses de noviembre y diciembre, con los resultados de Moreira *et*

al. (2006) para la costa norte-central de Cuba. Para la biomasa seca, los meses que presentaron las mayores diferencias significativas (noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019) pertenecieron a este período. La temporada de arribazón, en la estación de seca, comenzó en el mes de octubre con la formación del Huracán Michel y la entrada del primer frente frío. Febrero, a pesar de pertenecer

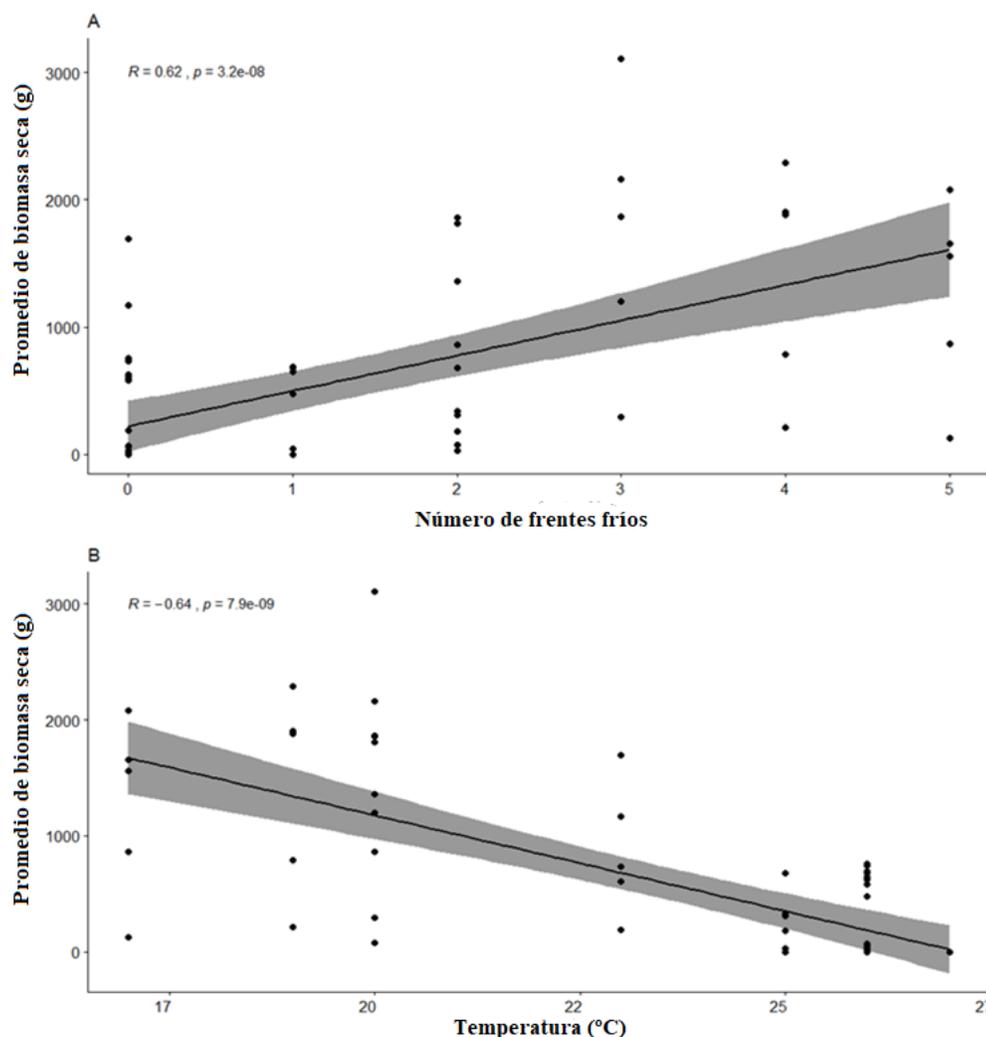


Fig. 11. Relación del promedio por mes para cada playa de la biomasa seca (g) de *Sargassum pelágico* con el número de frentes fríos (A) y la temperatura (°C) (B). R: Coeficiente de Correlación de Spearman, p: probabilidad.

a la temporada de seca, no mostró arribazones de sargazo. Esto pudiera obedecer a la ocurrencia de un solo frente frío en este mes, acompañado de condiciones meteorológicas menos favorables (velocidad del viento máxima de 28 km/h^{-1} y con dirección predominante desde el componente sur) a las que presentaron los meses de mayor arribazón (velocidades del viento por encima de 35 km/h^{-1} y dirección predominante desde el componente norte). A pesar de no pertenecer a este período

invernal, mayo/2018 presentó arribazones considerables. Pudo tratarse de un mes atípico, debido a la presencia del ciclón tropical Alberto (www.insmet.cu).

Esta situación sinóptica se trasladó por el occidente de Cuba hasta el golfo de México, donde Johnson *et al.* (2013) ubican uno de los puntos de aglomeración de *Sargassum pelágico*. Se piensa que parte de esa masa de sargazo acumulada, en el golfo de México, haya sido trasladada hacia el litoral noroeste de Cuba. La poca

biomasa seca presentada posteriormente en junio/2018 y julio/2018 pudo haber sido un remanente del ciclón tropical. Algo semejante, pero para la costa sur de Cuba, sucedió en el 2012 en el litoral de la provincia de Cienfuegos. En dicha provincia se presentó una situación sinóptica atípica que trajo consigo una arribazón inusual de sargazo según Moreira y Alfonso (2013). Estos autores plantean que las mayores arribazones de sargazo llegan durante el invierno en la costa norte y en verano en la costa sur. Estos resultados son similares a los reportados por Moreira *et al.* (2006) y a los del presente estudio, donde se registraron muy bajos valores de biomasa de arribazón de *Sargassum* pelágico en julio/2018 y no se reportaron arribazones en los meses de agosto/2018 y septiembre/2018.

El número de marcos cuadrados presentó los mayores valores en los meses de noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019, lo cual coincidió con los meses de mayor biomasa seca obtenida en este estudio. Los meses que presentaron las mayores diferencias significativas (noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019) coincidieron con los meses de mayor intensidad de la velocidad del viento (por encima de 35 km/h⁻¹) y de la altura de las olas (1.6 m). Se infiere que la cobertura de sargazo, sobre el mesolitoral, está relacionada con la intensidad en que las variables meteorológicas impactaron la zona.

Torres-Conde y Martínez-Daranas (2019) identificaron las dos especies de *Sargassum* pelágico en las arribazones: *S. fluitans* y *S. natans*. En este trabajo se adicionaron tres morfotipos de *Sargassum* pelágico según las descripciones realizadas por Schell *et al.* (2015). Los especímenes analizados presentaron las características propuestas por la iconografía original de Parr (1939) y Winge

(1923). Estos autores fueron citados por Schell *et al.* (2015) en la elaboración de sus descripciones. Por otra parte, *S. natans* I ha sido encontrado en proporciones altas con respecto a sus homólogos en el Mar de los Sargazos (Schell *et al.* 2015), donde parece ser dominante en esta región. Este morfotipo se caracteriza por presentar una forma delgada y ligera, lo cual coincidió su mayor acumulación en un mar típicamente oligotrófico (Morel *et al.*, 2010). Sin embargo, *S. natans* VIII, el cual presenta la forma más robusta de estos morfotipos, fue encontrado por Schell *et al.* (2015) en grandes proporciones en el occidente del Atlántico Tropical, el oriente del Caribe y la corriente de las Antillas. Esto pudiera sugerir que hace varias décadas ocurrió un fenómeno de dispersión de *S. natans*. Esta dispersión pudo haber ocurrido desde el Mar de los Sargazos hacia la región sur-tropical del Atlántico. Posteriormente, en las nuevas condiciones de altas concentraciones de nutrientes, se propició, con el transcurso del tiempo, la aparición de un nuevo morfotipo (*S. natans* VIII). Probablemente, las condiciones netamente naturales junto con la eutrofización de las aguas del Caribe, hayan favorecido la proliferación descontrolada de esta especie. Esto pudo ser el inicio de los eventos masivos hacia el Caribe, golfo de México y las Antillas, en el 2011. Por otra parte, *S. fluitans* III se ha encontrado tanto en el norte como en el sur del Atlántico. Este morfotipo ha mostrado proporciones bajas con respecto a las presentadas por *S. natans* I en el Mar de los Sargazos, y a las mostradas por *S. natans* VIII en las regiones de las Antillas, el oriente del Caribe y el occidente del Atlántico Tropical, según Schell *et al.* (2015). De esto se puede inferir que la especie *S. natans* es competitivamente superior a la especie *S. fluitans*, y en ambas

condiciones nutrientes (bajos y altos) ha logrado proliferar más.

De acuerdo con el Análisis de Componentes Principales, la velocidad y dirección del viento fueron las variables que más influyeron sobre el aumento de la biomasa de arribazón, en el área de estudio, y en una menor medida la altura de las olas. La temperatura (valores por debajo de 30°C con mínimos de 17°C), cuyo comportamiento resultó ser inversamente proporcional a los meses de mayor biomasa seca, fue otra de las variables que estuvo más relacionada. En los meses de mayo/2018, noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019, los vientos superaron los 35 km/h⁻¹, fundamentalmente desde el componente norte, y las olas superaron los 1.5 m de altura. Estos resultados coinciden con Brooks *et al.* (2018), quienes plantean que la advección constituye un elemento determinante en la distribución de sargazo en el Atlántico. Además, se coincide con los criterios de Zuñiga (1996), Pazos *et al.* (1996) y Moreira *et al.* (2006) sobre los vientos, de componente Norte y Norte-Noreste y velocidades mayores de 11-19 km/h⁻¹, como parámetros que favorecen la llegada de arribazones al norte de Cuba.

Los meses donde la biomasa seca presentó las mayores diferencias significativas (noviembre/2018, diciembre/2018, enero/2019 y marzo/2019), coincidieron con la presencia de dos o más frentes fríos. Esta situación sinóptica trajo consigo fuertes vientos desde el componente norte y bajas temperaturas, de acuerdo con Cedeño (2015), lo cual se corrobora con una fuerte correlación negativa entre las dos variables. La correlación mostrada entre el promedio de la biomasa seca y el número de frentes fríos y las bajas temperaturas, nos brinda otra prueba de que las mayores

arribazones al norte de Cuba suelen llegar en el período invernal.

La media negativa del AOi, en el período invernal, pudiera indicar que las diferencias en la presión atmosférica entre las latitudes no fueron tan altas. Esta coincide con Wallace (2000), quien plantea que entre más negativo es el AOi más frecuentes son los frentes fríos sobre los trópicos. Esta situación pudo haber traído consigo un aumento en la intensidad de ondas frías desde el hemisferio norte, y esto a su vez pudo haber favorecido el influjo de arribazón proveniente del Mar de los Sargazos y/o del golfo de México. A partir de octubre/2018 comenzó a ocurrir una disminución de los valores del AOi con respecto a los meses de verano. Esta disminución marcó la entrada del primer frente frío. Uno de los meses de mayor arribazón fue enero/2019. Este mes coincidió con las magnitudes más bajas del AOi (-0.71) y la mayor cantidad de frentes fríos (5). Esto verifica lo que Cedeño (2015) plantea: el AOi en fase negativa incrementa la frecuencia de frentes fríos. Sin embargo, esto no ocurrió para el mes de mayo/2019, el cual no presentó arribazones a pesar de que presentó AOi-. La diferencia pudiera encontrarse en el hecho de que, en los meses de mayor arribazón, se presentaron vientos locales que excedieron los 35 km/h⁻¹, mientras que en mayo/2019 los vientos no superaron los 25 km/h⁻¹. Al parecer, la intensidad de los vientos locales pudo tener un importante rol en la fase final de llegada de las arribazones, incluso con AOi+ o AOi-. Por otra parte, el NAOi tuvo magnitudes más positivas que el AOi durante el período estudiado, incluso en los meses de mayor arribazón. Esto no ha sido nuevo, sino una tendencia en los últimos 30 años: el predominio de NAOi en fase positiva. Estos valores positivos han sido asociados

con cambios notorios en el clima, el estado del tiempo (Hurrell, 1995) y la distribución de las especies marinas (Fromentin & Planque, 1996). Las arribazones al Caribe también han sido vinculadas con incrementos de nutrientes en el mar, debido al polvo proveniente del Sahara y esto ha sido asociado con NAOi+ (Serebryakova *et al.*, 2018; Tagliabue *et al.*, 2017). Mendez-Tejeda y Rosado-Jiménez (2019) refieren que las dos principales causas climáticas del movimiento del *Sargassum* pelágico, al Caribe, son los vientos alisios y el anticiclón de Azores. Ambos fenómenos están asociados con NAOi+ y AOi+. Esto es interesante debido al supuesto de que, si estos índices son positivos, se fortalece la llegada de arribazón hacia la NERR por influencia del anticiclón de Azores y los vientos alisios. En este sitio el sargazo se suplementa de nutrientes y posteriormente, en el verano, mediante la corriente ecuatorial del norte y la de Brasil, llegan hacia el sur de Cuba y golfo de México. Esta combinación de factores puede haber provocado las grandes arribazones en los últimos años. Sin embargo, la llegada al litoral este de La Habana, según este estudio, está más relacionada a la acción de los vientos fríos del norte con el AOi en fase negativa. La biomasa encontrada en este trabajo y el de Moreira *et al.* (2006), junto con el análisis meteorológico y oceanográfico, nos indican que el litoral norte de Cuba no ha sido afectado hasta el momento por las arribazones masivas en el Caribe.

Las arribazones de *Sargassum* pelágico han sido consideradas un fenómeno normal a lo largo de los años, incluso Critchley *et al.* (1983) afirman que pueden jugar un papel importante en la productividad y estabilidad del litoral. Además, estos autores plantean que el sargazo puede servir

de nutriente para las plantas que crecen en las dunas, así como transporte para numerosas especies de vida marina. Sin embargo, en grandes cantidades los efectos pueden ser nocivos en los ecosistemas costeros, la salud humana y la industria turística (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2016). Bamba *et al.* (2013) plantean que la descomposición de *Sargassum* en las costas y playas puede provocar anoxia y el incremento de sulfuro de hidrógeno venenoso, cuyo daño a los animales y seres humanos es notable. A pesar de que en este trabajo no se apreciaron cantidades masivas en el litoral este de La Habana, sí se percibió inconformidad en los bañistas con la presencia del sargazo en meses como marzo/2018. Se produjeron erupciones en la piel y comen zón por el contacto con el sargazo, según los testimonios del personal afectado. Por ello será necesario un monitoreo de este fenómeno ambiental que se incrementará en los próximos años y que puede producir afectaciones significativas en sectores como el turismo y las pesquerías de importancia económica para Cuba y otras regiones del Caribe.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todas las personas que de una manera u otra ayudaron a hacer posible estos resultados. A Arístides Yovany Pérez, Jorge Gabriel Zúñiga y a Beatriz Vila por su colaboración en los muestreos.

REFERENCIAS

- ARECES, A.J., SUÁREZ, A.M., VALDÉS, O. y CANO, M. (1993). Recomendaciones metodológicas para evaluar el sargazo de arribazón. *Archivo Científico, Instituto de Oceanología*, 1, 758-93.
- AZANZA, J. y PÉREZ, R. (2016). Impacto de la acumulación de sargazo del verano

- del 2015 sobre las tortugas marinas de playa La Barca, península de Guanahacabibes. *Rev. Invest. Mar.* 36(1), 54-62.
- BAMBA, A., ABRAHAM, S., FONTAINE, A., FARDIN, F. & FRANKS, J. (2013). *Paper on the Sargassum seaweed invasion of West African and Caribbean coasts*. UNEA-2 Side Event.
- BROOKS, M. T., COLES, V. J., HOOD, R. R. y GOWER, J. F. R. (2018). Factors controlling the seasonal distribution of pelagic *Sargassum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 599, 1-18.
- CEDENO, A.R. (2015). Oscilación Ártica y frentes fríos en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(1), 91-102.
- CPC. (2020). *Climate Prediction Center, Washington, United States of America*. NAO index data available in the website: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/lpna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii>. AO index data available in the website: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii; searched on 5 June 2020.
- COMISIÓN NACIONAL DE NOMBRES GEOGRÁFICOS (2000). *Diccionario Geográfico de Cuba*. La Habana: Oficina Nacional de Hidrografía y Geodesia.
- CRITCHLEY, A.T., FARNHAM, W.F. & MORRELL, S.L. (1983). A chronology of new European sites of attachment for the invasive brown alga, *Sargassum muticum*, 1973-1981. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 63(1), 799-811.
- FROMENTIN, J.M. & PLANQUE, B. (1996). Calanus and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 134, 111-118.
- GAVIO, B., RINCÓN-DÍAZ, M. & SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2015). Massive quantities of pelagic *Sargassum* on the shores of San Andres Island, Southwestern Caribbean. *Acta Biol. Colomb.*, 20(1), 239-241.
- GOWER, J., YOUNG, E. & KING, S. (2013). Satellite images suggest a new *Sargassum* source region in 2011. *Remote Sens. Lett.*, 4(8), 764-773.
- HELLER, R. (2000). *A Sea Within a Sea: Secrets of the Sargasso*. Price Stern Sloan.
- HURRELL, J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.
- 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. En *Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute* (pp. 102-103). Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Santa Marta, Colombia.
- MÉNDEZ-TEJEDA, R. & ROSADO-JIMÉNEZ, G.A. (2019). Influence of climatic factors on *Sargassum* arrivals to the coast of the Dominican Republic. *J. Oceanogr. Mar. Sci.*, 10(2), 22-32. doi:10.5897/JOMS2019.0156.
- MOREIRA, A. y ALFONSO, G. (2013). Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen en la costa centro-sur de Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 33(2), 17-20.
- MOREIRA, L., CABRERA, R. y SUÁREZ, A.M. (2006). Evaluación de macroalgas marinas del género *Sargassum* C. Agardh (Phaeophyta, Fucales). *Rev. Invest. Mar.*, 27(2), 115-120.
- 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.
- PARR, A. E. (1939). Quantitative observations on the pelagic Sargassum vegetation of the Western North Atlantic. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, 6(7), 1-94.
- PAZOS, C., ZUÑIGA, D. y GÓMEZ, R. (1996). Las situaciones meteorológicas extremas, su relación con las arribazones de *Sargassum* en Cayo Coco. *Rev. Enlace*, 8(3), 4.
- PRIETO, L., MACÍAS, D., PELIZ, A. & RUIZ, J. (2015). Portuguese Man-of-War (*Physalia physalis*) in the Mediterranean: A permanent invasion or a casual appearance? *Sci. Rep.*, 5, 11545. doi: 10.1038/srep11545.
- RAMOS, D.B., SARDIÑAS, O., MENA, K., LANDEIRO, E., MUÑOS, L., LABRADA, M., ... TORRADO, C. (2005). *Diagnóstico Ambiental Integral del Sitio urbano de Cojímar*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Instituto de Geografía Tropical.
- RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R.E., VAN TUSSENBROEK, B.I. y JORDÁN-DAHLGREN, E. (2016). Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe mexicano (2014-2015). En E. García-Mendoza, S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz, y E.J. Núñez-Vázquez (Eds.), *Florecimientos Algales nocivos en México* (pp. 352-365). Ensenada, México. CICESE.
- SCHELL, J.M., GOODWIN, D.S. & SLUDA, 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. doi: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2015.70>.
- SEREBRYAKOVA, A., AIRES, T., VIARD, F., SERRAO, E.A. & ENGELEN, A.H. (2018). Summer shifts of bacterial communities associated with the invasive brown seaweed *Sargassum muticum* are location and tissue dependent. *PLoS ONE*. 13(12):e0206734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206734>.
- SMETACEK, V. & ZINGONE, A. (2013). Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature*, 504, 84-88.
- TAGLIABUE, A., BOWIE, A.R., BOYD, P.W., BUCK, K.N., JOHNSON, K.S. & SAITO, M.A. (2017). The integral role of iron in ocean biogeochemistry. *Nature*, 543(7643), 51-59. doi: 10.1038/nature2105.
- TORRES-CONDE, E.G. y MARTÍNEZ-DARANAS, B. (2019). Lista de especies de las arribazones de macrofitobentos en cinco playas de Habana del Este, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 39 (1), 147-147.
- VAN TUSSENBROEK, B.I., HERNÁNDEZ-ARANA, H.A., RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, R.E., ESPINOZA-AVALOS, J., CANIZALES-FLORES, H.M., GONZÁLEZ-GODOY, C.E. ... COLLADO-VIDES, L. (2017). Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Mar. Pollut. Bull.*, 122, 272-281. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>.
- WANG, M., HU, CH., BARNES, B.B., MITCHUN, G., LAPOINTE, B.E. & MONTOYA, J.P. (2019). The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, 365 (6448), 83-87.
- WINGE, O. (1923). *The Sargasso Sea, its boundaries and vegetation*. Report on the Danish oceanographic expeditions 1908-10 to the Mediterranean and adjacent seas. Miscellaneous papers. Carlsberg Physiological Laboratory. Copenhagen. Denmark.
- ZÚÑIGA RÍOS, D. (1996). *El género Sargassum (Phaeophyta, Fucales) y sus arribazones a Playa Larga, Cayo Coco, Cuba* (Tesis presentada en opción al grado académico de Máster en Biología Marina y Acuicultura), Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana, Cuba.