

***Sargassum* spp. de arribazón: caracterización y potencial uso agrícola**

Sargassum spp. drifts: characterization and potential agricultural use

Amalia de la C. Díaz-Prieto¹ <http://orcid.org/0009-0003-2731-0180>

Kiara Zulueta-Prado¹ <http://orcid.org/0009-0005-9911-7202>

Orbel A. Marrero-Pérez¹ <http://orcid.org/0000-0003-2482-9326>

Mislén Gómez-Matos¹ <http://orcid.org/0000-0002-5666-5381>

Dariellys Martínez-Balmori^{2*} <http://orcid.org/0000-0002-8321-8077>

¹Centro de Estudios de Productos Naturales, Facultad de Química, Universidad de La Habana, Habana, Cuba

²Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química, Universidad de La Habana, Habana, Cuba

*Autor para correspondencia: dmbalmori@gmail.com

RESUMEN

En Cuba, el arribazón de sargazo pelágico no constituye un fenómeno de gran magnitud, sin embargo, es recurrente y no hay un manejo adecuado de esta biomasa, considerada como un residuo marino. El objetivo de esta investigación fue caracterizar sargazo recolectado en el litoral habanero en diciembre de 2021 y marzo de 2023, para detectar variaciones en su composición química y valorar la potencialidad de este residuo como materia prima para el desarrollo de insumos agrícolas. Las muestras colectadas se caracterizaron mediante tamizaje fitoquímico, propiedades físico-químicas y los contenidos de metales pesados y polímeros naturales. En ambas colectas se destaca la presencia de alcaloides, azúcares reductores, compuestos aminados y esteroides. Las características físico-químicas y el contenido de biopolímeros variaron entre colectas y la concentración de metales fue inferior al límite permisible. Los resultados hacen del sargazo una materia prima potencial para la producción de bioinsumos agrícolas (biofertilizantes, bioestimulantes o biomaterial).

Palabras clave: biopolímeros; macroalgas; metabolitos; metales pesados; tamizaje fitoquímico.

ABSTRACT

The arrival of pelagic sargassum in Cuba is not a phenomenon of great magnitude as in other Caribbean regions, however, there is no adequate management of this biomass. The use of macroalgae in agriculture is a common practice. The objective of this research was to characterize sargassum collected from the Havana coast in December 2021 and March 2023 to detect variations in its chemical composition and to evaluate its potential for developing agricultural inputs. The collected samples were characterized by phytochemical screening, physico-chemical properties, and the content of heavy metals and natural polymers. In both collections, the presence of alkaloids, reducing sugars, amino compounds and steroids was noted; the physicochemical characteristics and biopolymer content varied between collections; and the concentration of metals was below the permissible limit. The results make sargassum a potential raw material for the production of agricultural bioinputs (biofertilizers, biostimulants or biomaterial).

Keywords: macroalgae; biopolymers; metabolites; heavy metals; phytochemical screening.

Recibido: 23/11/2023

Aprobado: 5/1/2024

Introducción

El sargazo pelágico (*Sargassum fluitans* B. y *Sargassum natans* L.) se distribuye en las aguas cálidas del océano Atlántico, zona que se conoce como Mar de los Sargazos. Esta biomasa constituye zona de crecimiento de especies marinas, permite el flujo de biodiversidad a través del océano y favorece los ecosistemas costeros.⁽¹⁾

No obstante, la acumulación de estas macroalgas provoca afectaciones ambientales y económicas. La descomposición del sargazo acumulado ocurre en pocos días y desencadena procesos que inciden de manera negativa en los ecosistemas marinos y costeros. Además, la industria turística también se ve afectada al disminuir la calidad de las playas por la erosión y el desprendimiento de gases producto de la descomposición que pueden afectar la salud humana.⁽²⁾

Los arribazones inusuales en la región del mar Caribe en los últimos años, están asociados a la formación de un cinturón de sargazo que se extiende por el Atlántico, desde el occidente de África hasta la costa de México.⁽¹⁾ El aporte de nutrientes provenientes de África occidental y del río Amazonas, el aumento de la temperatura del océano, las estaciones del

año y fenómenos climáticos como El Niño, son factores que se relacionan con el aumento de la biomasa del sargazo.^(1,2)

La capacidad del sargazo de proliferar ante condiciones adversas, puede relacionarse con la propiedad de producir una variedad de metabolitos.⁽³⁾ Los reportes sobre la composición de sargazo caribeño indican presencia de aminoácidos, aminas biogénicas, monosacáridos, polisacáridos, compuestos fenólicos, ácidos grasos vitaminas y fitohormonas.^(4,5,6) Esta condición puede ser aprovechada para su empleo en la industria agrícola al aplicarse directamente en el suelo o en forma de harinas o extractos que actúen como bioestimulantes del crecimiento vegetal^(3,7) o biopolímeros en el mejoramiento de las condiciones del suelo⁽⁸⁾. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las macroalgas pueden contener metales pesados como arsénico, cadmio, plomo, hierro o cobre de acuerdo a las condiciones de crecimiento^(4,5), siendo necesario una caracterización de la biomasa antes de ser empleada con estos fines.⁽³⁾

La nula gestión del sargazo que arriba a las costas cubanas condiciona la búsqueda de soluciones para el manejo del mismo con diversos fines, por lo que en la presente investigación se realiza una caracterización del sargazo colectado en el litoral habanero en 2021 y 2023 para detectar variaciones en su composición química, y evaluar su potencialidad para el desarrollo de insumos agrícolas.

Materiales y métodos

Colecta y procesamiento de la biomasa de sargazo

Las muestras de biomasa de *Sargassum* spp. se colectaron en el litoral norte de La Habana, playa Tropicoco (23°10'35"N 82°11'17"W), en dos momentos: enero de 2021 (S21) y marzo de 2023 (S23), a distancias entre los 5-10 m de la orilla de la playa.

Las muestras colectadas y transportadas hasta el laboratorio en sacos de malla plástica para eliminar la arena, fueron higienizadas de objetos extraños, lavadas con agua corriente y secada en estufa a 60 °C durante tres días. El material se tamizó para quitar restos de arena y luego se trituró en un molino eléctrico (CONDUX; URSS), y posterior se tamizó con tamiz de 2µm. La biomasa procesada se almacenó en bolsas de papel para evitar la humedad.

Caracterización de la biomasa de sargazo

Tamizaje fitoquímico en extractos acuoso y etanólico

A cada muestra se le realizó una extracción con agua y una extracción con etanol. Para la extracción con agua se realizó una infusión de 1 g de biomasa en 20 mL de agua durante 15 min. Para la extracción con etanol, se maceraron 10 g de biomasa en 50 mL de etanol durante 24 h. Fueron filtradas y secadas para obtener dos extractos acuosos y dos etanólicos. Se les realizó la detección de metabolitos mediante un tamizaje fitoquímico según el protocolo de Rondina y Cossio.⁽⁹⁾

Contenido de metales pesados

El contenido de metales pesados se determinó mediante espectroscopia de absorción atómica; 10 g de cada muestra se redujeron a cenizas. De ellas, se procesaron 0,5 g con 7 mL de ácido nítrico en vasos de 150 mL de capacidad a una temperatura de 70 °C. Se agitó constantemente para eliminar los vapores nitrosos y llevar a sequedad. Luego de enfriar, se agregó agua destilada para disolver. El contenido, se transfirió a un volumétrico de 50 mL, se agregaron 2 mL de peróxido de hidrógeno y se llevó a volumen final con agua destilada.

Para la cuantificación de los metales pesados que se evaluaron (zinc, plomo, cobre y calcio) se realizaron curvas de calibración y se midió la absorbancia a 213,9 nm, 283,3 nm y 324,7 nm y 422,8 nm, respectivamente.

Propiedades físico-químicas

Para la determinación del contenido de cenizas, se colocaron 2 g de biomasa molida y seca en un crisol de porcelana previamente encendido y tarado. El material se calentó a 650 °C durante 6 h, se enfrió en un desecador durante 30 min. El contenido de cenizas fue calculado en por ciento. Se siguió el protocolo según la Organización Mundial de la Salud.⁽¹⁰⁾

La capacidad de retención de agua se determinó de acuerdo con la metodología planteada por Gómez-Ordoñez.⁽¹¹⁾ A una masa de 500 mg de la biomasa le se adicionaron 30 mL de agua destilada en tubos de 50 mL, se agitó suavemente la mezcla y se dejó reposar durante 24 h en la oscuridad. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 7 500 rpm durante 20 min a 20 °C. Se pesó el precipitado y la capacidad de retención de agua se calculó como g de agua retenida/g de muestra.

Para determinar el por ciento de humedad⁽¹²⁾, se tomó 1g de biomasa (M_0), se calentó en estufa por aproximadamente 3 min, y se dejó enfriar a temperatura ambiente en desecadora. Se repitió el proceso hasta alcanzar masa constante (M_s). Se calculó el por ciento de humedad utilizando la fórmula (1):

$$\% = \frac{M_0 - M_s}{M_0} * 100 \quad (1)$$

La solubilidad se determinó a partir de la biomasa seca (M_s) obtenida de 1 g de muestra⁽¹²⁾. Se le adicionaron 150 mL de agua destilada y se calentó durante 1 h a 100 °C en baño María. La mezcla se filtró y el residuo se lavó con 300 mL de agua destilada caliente, luego se secó en la estufa hasta masa constante (M_f). Los resultados se expresaron en por ciento de solubilidad, según la fórmula (2):

$$\% = \frac{M_s - M_f}{M_s} * 100 \quad (2)$$

Contenido de polímeros naturales (celulosa, hemicelulosa y lignina)

Los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina se determinaron siguiendo el método semicuantitativo Chesson-Datta⁽¹²⁾. A la biomasa final seca (M_f), obtenida en la evaluación de la solubilidad, se le adicionaron 150 mL de H_2SO_4 1N, y se colocó en baño María durante 1 h a 100 °C; posteriormente se filtró, y el residuo obtenido se lavó y se secó. El residuo (a) se colocó con 10 mL de H_2SO_4 72 % a temperatura ambiente durante 4 h, luego se adicionaron 150 mL de H_2SO_4 1N y se calentó en baño de agua a 100 °C durante una hora. El sólido obtenido se lavó con 400 mL de agua destilada y se secó en el horno hasta tener un peso constante (b); luego se sometió a 650 °C hasta reducir a cenizas para determinar el contenido de lignina. El cálculo del porcentaje de los biopolímeros se realizó según las expresiones (3-5):

$$\% \text{ Hemicelulosa} = \frac{(a - M_f)}{M_s} * 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(b - a)}{M_s} * 100 \quad (4)$$

$$\% \text{ Lignina} + \text{ cenizas} = b \quad (5)$$

M_s : masa seca obtenida en el ensayo de contenido de humedad.

Todos los análisis se realizaron por triplicado, y los datos se procesaron y analizaron usando la herramienta de Excel de Microsoft Office 2019.

Resultados y discusión

Tamizaje fitoquímico en extractos acuoso y etanólico

Ambos extractos obtenidos de las biomásas de algas colectadas S21 y S23 exhiben la mayoría de las familias de compuestos detectables mediante tamizaje fitoquímico (tabla 1). En el extracto etanólico de la biomasa S21 fueron detectados todos los metabolitos que esta técnica cualitativa detecta, mientras que en el extracto acuoso no se detecta la presencia de quinonas y flavonoides. En el caso de la biomasa S23, para ambos extractos, no se detectaron todas las familias de metabolitos.

Los resultados se corresponden con los reportados en otros estudios con este género de macroalga parda, colectada en esta u otras regiones del mundo⁽¹³⁻¹⁵⁾. En el extracto hidroalcohólico de *Sargassum fluitans* que arribó en el litoral habanero de Cuba, se reporta la presencia de azúcares reductores, proantocianidinas/catequinas y triterpenos/esteroides,⁽¹³⁾ mientras que en extracto etanólico de *Sargassum cristaefolium*, colectado en Indonesia, se reportan compuestos fenólicos y flavonoides.⁽¹⁴⁾

Para *Sargassum wightii*, arribado a las costas de la India, no se detectan familias de compuestos en el extracto acuoso pero al emplear otros disolventes, se detectan saponinas, alcaloides, flavonoides y fenoles.⁽¹⁵⁾ Sin embargo, para esta misma especie, otros autores reportan taninos en extracto acuoso, alcaloides y esteroides en extracto etanólico y flavonoides en una extracción con cloroformo.⁽¹⁶⁾ El tipo de disolvente empleado para la extracción y la especie de sargazo pueden influir en las diferencias detectadas en la composición y abundancia de metabolitos. Otra posibilidad sería el tamaño de partícula, que a menor tamaño, mayor cantidad de familias de metabolitos detectadas.⁽¹⁴⁾

Tabla 1- Familias de metabolitos detectados en extractos acuoso y etanólico de las biomásas de sargazo S21 y S23

Metabolitos	Extractos			
	Acuoso		Etanólico	
	S21	S23	S21	S23
Compuestos aminados	++	++	+++	+++
Triterpenos/Esteroides	+	++	+++	++
Quinonas	-	-	+++	+++
Proantocianidinas/Catequinas	+	-	+	-
Fenoles	++	+	+++	-
Flavonoides	-	-	+	-
Cardenólidos	+++	+++	+	-
Azúcares reductores	+++	+++	+++	+++

Saponinas	+++	+++	+++	+++
Alcaloides	+++	+++	+	+++
Taninos	++	+	-	-

-: Nodetectado +: Detectado +++: Abundante

La fisiología del alga, que varía con el tiempo y las condiciones ambientales, determina la síntesis de metabolitos⁽⁶⁾. En la presente investigación, la composición y abundancia de metabolitos en ambas muestras, colectadas en diferentes épocas del año, difieren. La proporción de especies (*S. natans*/*S. fluitans*) en las muestras, las diferencias morfológicas, y factores ambientales (temperaturas, movimiento de las corrientes oceánicas, tiempo de exposición al medio antes de la colecta, etc.), podrían ser la causa de las variaciones detectadas en este trabajo.

La composición aminoacídica de sargazo recogido en el Caribe puede variar según la estación del año y la localización del mismo.⁽⁴⁾ Los aminoácidos pueden formar parte de la familia de compuestos aminados detectada en ambas muestras (tabla 1). El suministro de aminoácidos exógenos a la planta influye en procesos biológicos implicados en la señalización celular o en la regulación hormonal. La presencia de este tipo de compuestos en bioestimulantes, favorece en la planta la regulación del transporte, el ajuste osmótico, la señalización, entre otros procesos fisiológicos. Además, pueden ser precursores de fitohormonas que ya se encuentran reportadas en algas pardas y cuya presencia en bioestimulantes tiene un efecto positivo sobre el estado hormonal de la planta, induciendo la síntesis de hormonas *de novo* por parte de la planta.⁽⁶⁾

El suministro de azúcares exógenos a las plantas puede favorecer procesos fisiológicos como la germinación, fotosíntesis y el retraso de la senescencia en condiciones de estrés. Sin embargo, las altas concentraciones de los mismos pueden revertir estos procesos.⁽¹⁷⁾ Los carbohidratos reductores pueden incluir monosacáridos u oligosacáridos que conforman algunos polisacáridos reportados para *Sargassum* como la celulosa, hemicelulosa o alginato.⁽¹⁸⁾

Los oligosacáridos de alginato favorecen la respuesta de la planta ante condiciones de estrés salino y bioestimulan el crecimiento de las mismas. Los polisacáridos como el alginato, al tener propiedades gelificantes y quelantes, permite el empleo de formulaciones derivadas del sargazo como plataforma para la encapsulación de compuestos bioactivos de interés agrícola.⁽⁷⁾

Otras familias de compuestos detectadas en las biomásas, podrían proporcionar al bioinsumo agrícola desarrollado, la capacidad de protección ante condiciones de estrés biótico. Tal es el caso de las saponinas, que tienen efecto insecticida lo que favorece la respuesta de la planta ante patógenos.⁽¹⁹⁾ Los cardenólidos pueden actuar como repelentes o antinutritivos para herbívoros de todo tipo,⁽²⁰⁾ además de las quinonas, los alcaloides y los terpenos que tienen efecto biocida.⁽⁷⁾

La variedad de compuestos presentes en el sargazo es lo que induce la estimulación del crecimiento vegetal y la respuesta ante condiciones de estrés ambiental, de ahí que sea usado como materia prima para la elaboración de bioestimulantes para las plantas. Esto permite la aplicación de estos bioproductos mediante métodos como la enmienda foliar, la imbibición de semillas o las soluciones hidropónicas.⁽⁷⁾ Sin embargo, se hace necesario el estudio de dosis de aplicación del bioproducto por posibles respuestas hormónicas.

Propiedades físico-químicas y metales pesados

Las biomásas de sargazo S21 y S23 muestran diferencias en relación a la capacidad de retención de agua y % de cenizas, mientras que la humedad y solubilidad es similar (tabla 2). La muestra S21 tiene menor capacidad de retención de agua y de porcentaje de cenizas que la muestra S23. En la muestra S21 fue detectada una mayor concentración de los metales calcio y cobre que en la muestra S23.

La capacidad de retener agua condicionada por la abundancia de polímeros en la composición de estas macroalgas, permiten su empleo como hidroretenedores en forma de hidrogeles que favorecen el rendimiento de los cultivos.⁽²¹⁾ El contenido de humedad está en el rango de lo reportado para *Sargassum* spp. del Caribe entre 8,50 % y 18,80 %⁽⁴⁾.

El contenido de cenizas totales difiere en 0,85 % entre ambas colectas. Los resultados son menores que los reportados para *Sargassum* spp., recolectado en México⁽²²⁾ ($22,5 \pm 1,4$ %). Ambos procedimientos incluyeron un pretratamiento con agua corriente, cuyas diferencias pueden deberse a condiciones ambientales. Otros autores reportan valores por encima del 30 %, excepto para las cenizas del sargazo que arribó a República Dominicana.⁽⁴⁾ En estudios realizados con sargazo pelágico arribado a islas Turcas y Caicos, el contenido de cenizas osciló entre 33-47 %, ⁽⁵⁾ las diferencias pueden estar influidas por la especie de sargazo, las condiciones ambientales y el procedimiento para obtener las cenizas, cuya temperatura máxima fue de 550 °C.

Tabla 2- Capacidad de retención de agua, % de cenizas, humedad y solubilidad y contenido de metales pesados de las biomásas de sargazo S21 y S23

Biomásas de Sargazo	CRA (g _{H2O} / g _{alga})	Cenizas (%)	Humedad (%)	Solubilidad (%)	Metales pesados (µg/kg)			
					Ca	Cu	Zn	Pb
S21	6,05	12,46 ± 0,03	15,5	19,6	0,04	0,08	ND	ND
S23	10,03	13,31 ± 0,03	15,6	20,4	0,037	0,03	ND	ND

Se debe tener en cuenta, que en muchos procederes, la biomasa se pretrata con agua de mar, por lo que el contenido de sales es mayor.⁽³⁾ El pretratamiento con agua corriente permitió que existieran menos impurezas en la biomasa recolectada, por eso sería recomendable realizarlo siempre. Los resultados pueden corresponder a macro y micronutrientes como potasio, nitrógeno, magnesio, calcio, además de restos de arena y sal. Se reporta que los minerales contenidos en la biomasa de algas pardas mejoran la estructura del suelo, aumentan la absorción de nutrientes por parte de la planta y promueven su crecimiento. Pueden mejorar el microbioma de la planta y potenciar la respuesta de esta ante estrés ambiental.⁽³⁾

Las concentraciones de metales pesados detectadas en la biomasa de S21 y S23 difieren a las reportadas para sargazo arribado a Guanahacabibes, en 2010,⁽²³⁾ lo cual puede estar influido por la diferencia temporal, las condiciones ambientales y el análisis sólo de *S. natans* en ese caso. En investigaciones que comprenden sargazo pelágico recogido en las costas de México, Jamaica y República Dominicana, los valores reportados de estos metales están por encima de los obtenidos en la presente investigación.⁽⁴⁾ De manera similar ocurre con otros reportes, sin embargo, son concentraciones comprendidas dentro del rango permitido para su uso agrícola.⁽⁵⁾ Las variaciones en los resultados pueden asociarse a las condiciones de origen y desarrollo de estos sargazos, dentro de aguas más o menos ricas en estos elementos.

Es recomendable, evaluar la concentración de un mayor número de metales pesados como cadmio, arsénico y mercurio. Además, este proceder debería realizarse siempre que se trabaje con una biomasa nueva colectada, debido a que el contenido de metales va depender de la calidad del agua, así como del lugar de crecimiento y desarrollo de estas macroalgas.⁽²⁴⁾ Sin embargo, estos resultados son prometedores porque no restringen el empleo del sargazo que arriba a Cuba en la elaboración de biofertilizantes o bioestimulantes, no contribuyen a la salinización del suelo ni a una acumulación importante tal que comprometa la salud vegetal y humana, como plantea el Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo⁽²⁴⁾.

Contenido de polímeros naturales (celulosa, hemicelulosa y lignina)

Los contenidos de los polímeros de hemicelulosa y celulosa para las biomásas de sargazo colectadas, no exhiben diferencias (figura 1), están en el rango de 27-33 % de hemicelulosa, y de 9-11 % de celulosa. En el caso del biopolímero de lignina, las muestras de sargazo S21 y S23 mostraron diferencias, siendo mayor el porcentaje para la muestra S23.

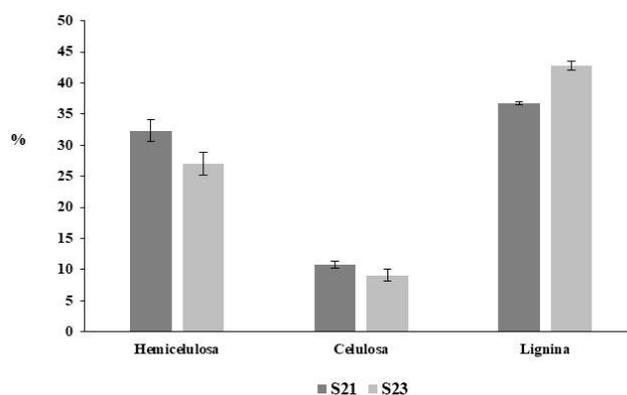


Fig. 1- Contenido (%) de los biopolímeros de hemicelulosa, celulosa y lignina en las biomasas de sargazo colectadas S21 y S23

La composición de celulosa es baja en comparación con valores reportados para otras especies del género como *Sargassum horneri*, recolectado en China, que oscilaba entre 28,29 y 39,88 %.⁽¹⁸⁾ Esto puede deberse a las condiciones ambientales del Mar Caribe y el océano Pacífico, en las que habitan ambos tipos de sargazo, y a la diferencia en las metodologías empleadas para la cuantificación de estos biopolímeros. Además, en sargazo arribado a la costa mexicana el contenido de celulosa fue mayor que el de hemicelulosa, contrario a los resultados de la presente investigación⁽²²⁾, probablemente debido a diferencias en los métodos de detección de estos compuestos.

El papel de dichos biopolímeros en la estimulación del crecimiento de las plantas, ha sido escasamente estudiado. La aplicación de bioestimulantes que contengan lignina, puede favorecer el desarrollo de las semillas y la elongación radicular en plantas.⁽²⁵⁾ Además, la presencia de estos polímeros en las muestras favorece que el sargazo pueda ser empleado en la fabricación de productos biodegradables: mulching o acolchado, biofilms, bandejas compostables para semillas y como plataforma para la encapsulación de compuestos bioactivos, incluyendo microorganismos benéficos. Esto puede incidir positivamente en la estabilización del suelo, la protección de las semillas, el crecimiento de las plantas y la respuesta ante estrés ambiental.⁽⁸⁾

Conclusiones

El sargazo que arriba en el litoral norte de La Habana exhibe todas las familias de compuestos detectables por tamizaje fitoquímico. La abundancia de metabolitos varió en función del tipo de extracto y momento de la colecta. La presencia de metabolitos y de biopolímeros naturales, así

como el bajo contenido de metales pesados en las algas arribadas, son elementos que destacan el potencial uso del sargazo como materia prima para el desarrollo de insumos agrícolas.

Referencias bibliográficas

1. WANG, M. *et al.* “The great Atlantic *Sargassum* belt”. *Science*. 2019. **365**(6448), 83-87. DOI: 10.1126/science.aaw7912.
2. FIDAI, Y. A.; DASH, J.; TOMPKINS, E. L.; TONON, T. “A systematic review of floating and beach landing records of *Sargassum* beyond the Sargasso Sea”. *Environ. Res. Commun.* 2020. **2**. 122001, 1-11 DOI: 10.1088/2515-7620/abd109.
3. PARDILHÓ, S. *et al.* “Back to the origins: Potential of beach-cast macroalgae as biofertilizer”. *Waste and Biomass Valorization*. 2022. **14**, 1097-1111 DOI: 10.1007/s12649-022-01922-7.
4. TONON, T. *et al.* “Biochemical and elemental Composition of pelagic *Sargassum* biomass harvested across the Caribbean”. *Phycology*. 2022. **2**, 204-215. DOI: 10.3390/phycolgy2010011.
5. MILLEDGE, J. J.; MANEIN, S.; ARRIBAS, E.; BARTLETT, D. “Sargassum Inundations in Turks and Caicos: Methane Potential and Proximate, Ultimate, Lipid, Amino Acid, Metal and Metalloid Analyses”. *Energies*. 2020. **13**, 1523. DOI: 10.3390/en13061523.
6. CRAIGIE, J. S. “Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture”. *J ApplPhycol.* 2011. **23**, 371-393. DOI: 10.1007/s10811-010-9560-4.
7. ESPINOSA ANTÓN, A. A.; HERNÁNDEZ-HERRERA, R. M.; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, M. “Bioactive seaweed extracts as biostimulants of growth and protection of plants”. *Biot. Veg.* 2020. **20**(4), 257-282. ISSN: 2074-8647.
8. PUGLIA, D. *et al.* “The Opportunity of Valorizing Agricultural Waste Through Its Conversion into Biostimulants, Biofertilizers and Biopolymers. *Sustainability*. 2021. **13**, 2710. DOI: 10.3390/su13052710.
9. RONDINA, R. V.; COUSSIO, J. D. “Estudio Fitoquímico de Plantas Medicinales”. *Rev. Invest. Agropec.* 1969. **6**(2), 352-66.

-
10. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Quality control methods for medicinal plant materials*. Geneva.1998. ISBN 92 4 154510 0 (NLM Classification: QV 766). URL: http://www.who.int/docs/default-source/medicines/norms-and-tandards/guidelines/quality-control/quality-control-methods-for-medicinal-plant-materials.pdf?sfvrsn=b451e7c6_0
11. GÓMEZ, ORDÓÑEZ, E. Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles. Estudios *in vitro* e *in vivo*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. España, 2013. Disponible en: <http://api.semanticscholar.org/CorpusID:82051863>
12. MAHYATI, A. R.; PATONG, M. N.; DJIDE, D.; TABA, P. “Biodegradation of lignin from corn cob by using a mixture of *Phanerochaete chrysosporium*, *Lentinus edodes* and *Pleurotus ostreatus*”. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2013. **2**(11), 79-82. ISSN 2277-8616.
13. PONCE, L. R.; DEL BARRIO, G. C.; SPENGLER, I.; RESIK, S.; ROQUE, A. “Evaluation of the antiviral activity of the brown algae *Sargassum fluitans* against Echovirus 9”. *Rev. Med. Tropical*. 2018. **70**(2), 1-10. ISSN: 1561-3054 (Electrónico). <https://www.medigraphic.com/cgibin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=83837>
14. PRASEDYA, E. S. *et al.* “Effect of particle size on phytochemical composition and antioxidant properties of *Sargassum cristaefolium* ethanol extract”. *Scientific Reports*. 2021. 11:17816. DOI: 10.1038/s41598-021-95769-y.
15. MARIMUTHU, J. *et al.* “Phytochemical characterization of brown seaweed *Sargassum wightii*”. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*. 2012. **2**(Sup 1), S109-S113. DOI: 10.1016/S2222-1808(12)60134-0.
16. AMUTHA, J.; SATHIYA, G.; PERIYANAYAGAM, K. “Pharmacognostical study and phytochemical evaluation of brown seaweed *Sargassum wightii*”. *Journal of Coastal Life Medicine*. 2013. **1**(3), 199-204. DOI: 10.12980/JCLM.1.2013C959.
17. SAMI, F.; YUSUF, M.; FAIZAN, M.; FARAZ, A.; HAYAT, S. “Role of sugars under abiotic stress”. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2016. 109, 54-61 DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.09.005.

18. AI, N. *et al.* “Rapid Measurement of Cellulose, Hemicellulose and Lignin Content in *Sargassum horneri* by Near-Infrared Spectroscopy and Characteristic Variables Selection Methods”. *Molecules*. 2022. **27**(335), 1-17. DOI: 10.3390/molecules2702335.
19. CUI, C. J. *et al.* “Insecticidal Activity and Insecticidal Mechanism of Total Saponins from *Camellia oleifera*”. *Molecules*. 2019. **24**, 4518. DOI: 10.3390/molecules24244518.
20. MITHÖFER, A.; BOLAND, W. “Plant Defense Against Herbivores: Chemical Aspects”. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2012. **63**, 431-50. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042110-103854.
21. AGUILERA, L. E.; CHANDÍA, N. P.; NEEDHAM, P.; Álvarez, C. “Efecto de polímeros algales sobre la productividad de uva bajo condiciones de riego deficitario”. *Información Tecnológica*. 2021. **32**(5),29-36. DOI: 10.4067/S0718-07642021000500029.
22. SALGADO, E. *et al.* “Energy-saving pretreatments affect pelagic *Sargassum* composition and DNA metabarcoding reveals the microbial community involved in methane yield”. *PLoS One*. 2023. **18**(8):e0289972. DOI: 10.1371/journal.pone.0289972.
23. PIÑA, J. J.; BALBÍN, A. I.; PÉREZ-CORDOVÉS, A. I. “La contaminación por metales pesados en sargazos procedentes de la costa sur en la península de Guanahacabibes”. *Revista Cubana de Química*. 2010. **XXII** (1), 83-88. ISSN: 0258-5995.
24. LÄHTEENMÄKI, A. *et al.* “European Union legislation on macroalgae product”. *Aquaculture International*. 2021. **29**, 487-509. DOI: 10.1007/s10499-020-00633-x.
25. SAVY, D.; COZZOLINO, V.; VINCI, G.; NEBBIOSO, A.; PICCOLO, A. “Water-Soluble Lignins from Different Bioenergy Crops Stimulate the Early Development of Maize (*Zea mays* L.)”. *Molecules*. 2015. **20**: 19958-19970. DOI: 10.3390/molecules201119671.

Declaración conflicto de intereses

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

Contribución de los autores

Amalia de la Caridad Díaz Prieto: ejecución de colecta, todos los análisis, interpretación de datos, escritura y edición del manuscrito.

Kiara Zulueta Prado: responsable por tamizaje fitoquímico, interpretación de datos, escritura de manuscrito.

Orbel Alejandro Marrero Pérez: responsable por la caracterización mediante propiedades físico-química, interpretación de datos, escritura del manuscrito.

Mislén Gómez Matos: Concepción experimental, colecta y revisión del manuscrito.

Dariellys Martínez Balmori: concepción experimental, revisión y edición del manuscrito.

Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.