

DOI: 10.24850/j-tyca-2021-03-04

Artículos

**Niveles de plomo, cromo, níquel, cobre y zinc en especies de *Sargassum* llegadas a las costas de República Dominicana durante 2019: una evaluación preliminar para el uso de la biomasa algal como fertilizante y en alimentación animal**

**Lead, chromium, nickel, copper and zinc levels in *Sargassum* species reached the coasts of Dominican Republic during 2019: a preliminary evaluation for the use of algal biomass as fertilizer and animal feeding**

Pamela Tejada-Tejada<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8707-5755>

Yaset Rodríguez-Rodríguez<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3937-2031>

Luis Enrique Rodríguez de Francisco<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9146-8634>

Omar Paíno-Perdomo<sup>4</sup>, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9937-0153>

Carlos José Boluda<sup>5</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8778-700X>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Área de Ciencias Básicas y Ambientales, Santo Domingo, República Dominicana, pamelatejada11@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Área de Ciencias Básicas y Ambientales, Santo Domingo, República Dominicana, yaset.rodriguez@intec.edu.do

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Área de Ciencias Básicas y Ambientales, Santo Domingo, República Dominicana, luis.defrancisco@intec.edu.do

<sup>4</sup>Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Área de Ciencias Básicas y Ambientales, Santo Domingo, República Dominicana, omar.perdomo@intec.edu.do

<sup>5</sup>Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), Área de Ciencias Básicas y Ambientales, Santo Domingo, República Dominicana, carlos.boluda@intec.edu.do

Autor para correspondencia: Carlos José Boluda,  
carlos.boluda@intec.edu.do

## Resumen

Las invasiones repetidas de *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* en las costas del Caribe durante los últimos años se han convertido en un problema de primer orden que amenaza al turismo, pesca y fauna local. Se esperan nuevas llegadas masivas de algas que podrían considerarse, en un futuro cercano, un evento normal, con su problemática asociada.

Para resolver este problema resulta necesario encontrar soluciones apropiadas que aprovechen la biomasa algal. No obstante, debido a la conocida capacidad de estas algas para acumular metales pesados, las aplicaciones relacionadas con la alimentación animal y la agricultura deben ir precedidas necesariamente de un análisis químico que garantice la inocuidad de la biomasa. En esta investigación se determinaron las concentraciones de plomo (Pb), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), cadmio (Cd) y el zinc menos tóxico (Zn) en la biomasa de *S. natans* y *S. fluitans* que llegaron a las costas de República Dominicana durante 2019. Para ello se utilizó la técnica de espectroscopía de absorción atómica de llama (FAAS). Los resultados mostraron niveles significativos de cobre, aunque la concentración de todos los metales detectados estuvo dentro de los valores considerados normales, lo que refleja la seguridad del material algal, en lo que a estos metales se refiere, para su utilización como fertilizantes y alimentación animal. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de estos elementos entre ambas especies.

**Palabras clave:** FAAS, metales pesados, cuantificación, *Sargassum*, toxicidad.

### Abstract

The repetitive invasive episodes of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* on the Caribbean coasts during the last years have become a first-order problem threatening tourism, fishing, and local fauna. New massive seaweed arrivals are nowadays expected and could be considered in the near future a normal event, with its associated problems. Appropriate solutions, taking advantage of algal biomass, are necessary to overcome

this problem. Due to the well-known ability of these algae to accumulate heavy metals, applications related to animal feeding and agriculture must necessarily be preceded by chemical analysis that guarantees the harmlessness of the algal material. In this research, the contents of lead (Pb), chromium (Cr), nickel (Ni), copper (Cu), cadmium (Cd) and the less toxic zinc (Zn) in *S. natans* and *S. fluitans* arrived in the dominican coast during 2019 were analyzed, by using flame atomic absorption spectroscopy (FAAS). The results showed significant levels of copper, although the concentration of all detected metals were within the normal values, reflecting the safety of the algal material as far as these metals are concerned, for use as fertilizers and animal feed. No significant differences in the contents of these elements were found between both species.

**Keywords:** FAAS, heavy metals, quantification, *Sargassum*, toxicity.

Recibido: 20/05/2020

Aceptado: 10/08/2020

## Introducción

El género *Sargassum* comprende alrededor de 359 taxones (especies y taxones infraespecíficos) de algas pardas (Aouissi *et al.*, 2018) (*Fucales*, *Phaeophyceae*, *Heterokontophyta*) que deben su color al carotenoide fucoxantina, que enmascara las clorofilas (Peng, Yuan, Wu, & Wang, 2011; Gutiérrez, González, Valdés, Hernández, & Acosta, 2016). *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon y *Sargassum fluitans* Børgesen (Børgesen) son algas pardas pelágicas de talo ramificado y provistas de largos filoides con borde dentado que se reproducen por fragmentación vegetativa (Széchy, Guedes, Baeta-Neves, & Oliveira, 2012). La capacidad de flotación de estas especies se debe a la presencia de vesículas llenas de aire, de morfología esférica, provistas de una espícula en el caso de *S. natans* y conocidas como aerocistos. Las claras diferencias morfológicas existentes en los filoides y aerocitos de ambas especies permiten su fácil diferenciación (Moreira & Alfonso, 2013; Oyesiku & Egunyomi, 2014). Estas algas forman gruesos tapetes que albergan una alta biodiversidad marina, con múltiples especies endémicas y no endémicas. Se incluyen aquí cnidarios, platelmintos, crustáceos, moluscos y peces, constituyendo así un ecosistema importante (CIT, 2015). Su existencia pelágica, combinada con las corrientes marinas, hace posible que estas algas lleguen masivamente a las costas caribeñas, tal como ocurrió en 2011 y 2015. En ambas ocasiones, tanto las Antillas Mayores como las Menores fueron profundamente afectadas (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, 2015), quedando patente la importancia de estos eventos para la economía y la ecología de las islas. Ambas algas muestran una distribución geográfica amplia, en especial *Sargassum fluitans* (Széchy *et al.*, 2012), atribuyéndose su origen típicamente a las aguas oligotróficas del Mar de los Sargazos,

ubicado en el oeste del Océano Atlántico Norte. Sin embargo, el origen de la invasión del sargazo de 2011, que afectó en gran medida al Caribe, se originó mucho más al sur, en una región con un rango de latitud aproximada de 5 a 10 °N y un rango de longitud de 60 a 10 °W, estando relacionada con la descarga de los ríos Amazonas y Congo (Gower, Young, & King, 2013; Johnson, Ko, Franks, Moreno, & Sánchez-Rubio, 2013). Desde entonces, las imágenes satelitales parecen confirmar la proliferación periódica del sargazo en una región ecuatorial, localizada entre la costa africana y Brasil, y que forma un Gran Cinturón Sargazo del Atlántico, conocido como GASB, por sus siglas en inglés. Ello puede indicar un nuevo patrón de proliferaciones recurrentes e invasiones sucesivas de las costas caribeñas por estas especies de *Sargassum* (Wang *et al.*, 2019).

Las acumulaciones de estas especies ejercen un impacto negativo sobre el turismo (León, 2015; Mohammed *et al.*, 2019) y la pesca (Mohammed *et al.*, 2019), a la vez que suponen riesgos relevantes para la salud humana por la inhalación de sulfuro de hidrógeno producido durante la descomposición de la biomasa algal (Oyesiku & Egunyomi, 2014; Resiere *et al.*, 2018; Resiere, Mehdaoui, Névière, & Mégarbane, 2019). Además, la acumulación masiva y descomposición de la biomasa en la costa tiene un efecto negativo sobre la fauna local, con una alta incidencia en peces y crustáceos. Esto se debe a la acción combinada de la falta de oxígeno y una alta concentración de sulfuro de hidrógeno e ión amonio (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019).

Sin embargo, la biomasa de algas puede ser valiosa, ya que podría utilizarse como fertilizante después de la desalinización. Además, especies

de este género contienen diferentes compuestos de interés, como los alginatos, polisacáridos de amplias aplicaciones en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria (Moreira & Alfonso, 2013).

Los extractos de *Sargassum natans* y otras especies del género han mostrado un potencial terapéutico significativo, lo que sugiere que estas algas marinas podrían proporcionar componentes funcionales novedosos para productos farmacéuticos, con aplicación en el tratamiento y prevención de diversos trastornos (Milledge & Harvey, 2016).

En cualquier caso, el uso de biomasa de algas como fertilizante y alimentación humana y/o animal requiere de un análisis químico que garantice su seguridad.

La capacidad de las algas marinas para acumular de manera efectiva metales pesados está bien documentada (Sheng, Ting, Chen, & Hong, 2004; Khan *et al.*, 2015). *Sargassum* puede absorber estos elementos en forma de óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos del agua de mar, por lo que su consumo podría ser motivo de preocupación (Oliveira, Hammer, Guibal, Taulemesse, & García, 2014; Barquilha, Cossich, Taveres, & Silva, 2019; Fernández-Martínez *et al.*, 2015). Las algas acumulan iones metálicos libres en concentraciones que dependen de la naturaleza del material particulado en suspensión que, a su vez, está formado por complejos tanto orgánicos como inorgánicos (Tamayo, Guas, Leyte-Vidal, & Maccini, 2014). Es bien conocido el hecho de que las paredes celulares de las algas están compuestas por polisacáridos, proteínas y lípidos, que contienen grupos funcionales con alta afinidad por iones de metales pesados (Zhao, Wang, Zhang, Gu, & Gao, 2018; Trica *et al.*, 2019). La capacidad de biosorción de estas algas se atribuye

principalmente a los alginatos, polisacáridos ácidos biosintetizados por polimerización de ácidos gulurónico y manurónico, con una fuerte afinidad por los iones de estos metales (Zhao *et al.*, 2018). Estos polisacáridos aniónicos, ausentes en las plantas terrestres, permiten a estas feofíceas acumular metales por intercambio iónico (Raize, Argaman, & Yannai, 2004).

Los niveles de metales pesados en la biomasa algal pueden alcanzar valores superiores a sus correspondientes concentraciones en el agua de mar (Milledge & Harvey, 2016). El conocimiento de los niveles de metales pesados en *S. natans* y *S. fluitans* mediante análisis químico es necesario para garantizar la seguridad del material algal en determinadas aplicaciones, que podrían poner en peligro la salud humana y animal. En este sentido, existen varias técnicas adecuadas para tal fin (Fernández-Martínez *et al.*, 2015), como la espectroscopia de absorción atómica electrotérmica (ETAAS, por sus siglas en inglés), la emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES, por sus siglas en inglés) y la espectroscopia de absorción atómica (AAS, por sus siglas en inglés) (Tamayo *et al.*, 2014). Esta última es una técnica específica y sensible (Gallegos, Vega, & Noriega, 2012), y se ha utilizado para cuantificar más de sesenta elementos de la tabla periódica. Además, varias razones, como su robustez, precisión, exactitud y bajo costo, justifican su uso para cuantificar metales. Por otro lado, esta técnica ha demostrado ser útil para evaluar la capacidad de biosorción de metales pesados en especies de *Sargassum* (Ibrahim, 2016; Ali, Idris, Ebrahim, & Eltayeb, 2017). También se ha utilizado para determinar la afinidad del alginato de



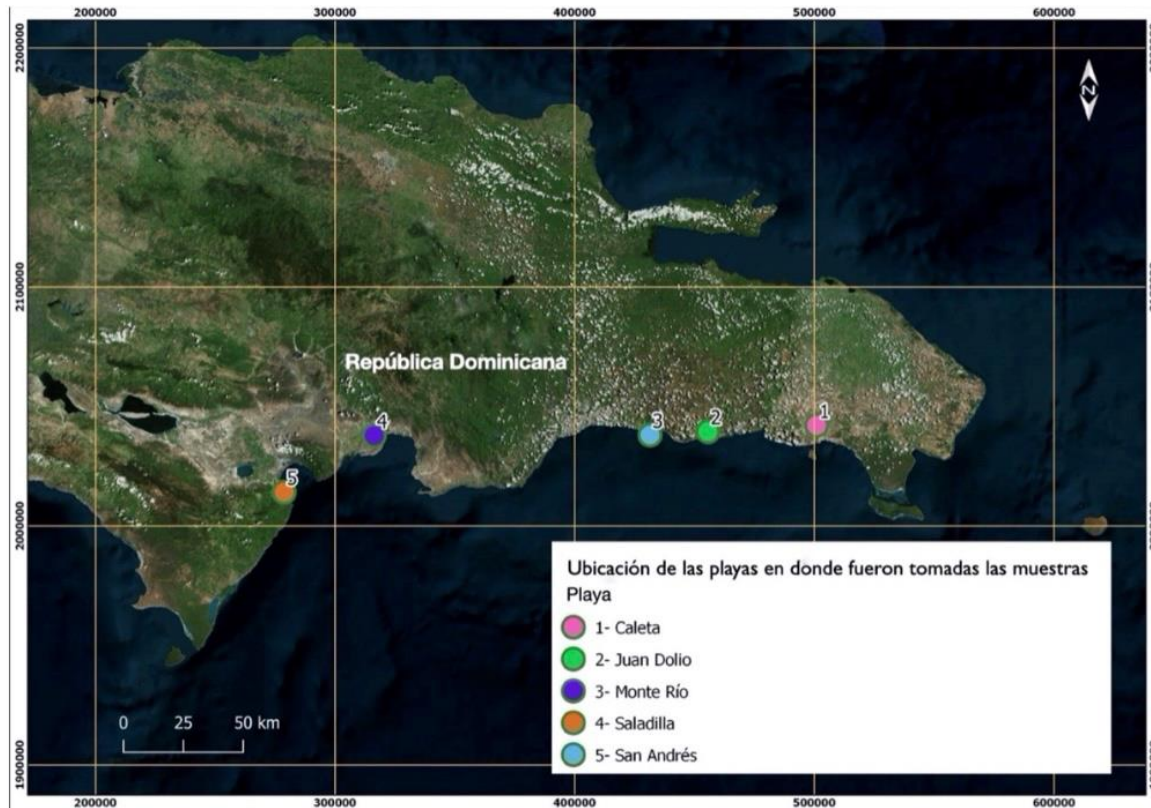
sargazo para diferentes iones metálicos (Moino, Costa, Da-Silva, & Vieira, 2017).

El objetivo principal de esta investigación es evaluar los niveles de metales pesados en *S. natans* y *S. fluitans* que arribaron a las playas dominicanas durante 2019; se utilizó espectroscopia de absorción atómica de llama (EAAF).

## Metodología

### Muestreo y preprocesamiento

Las muestras de *Sargassum* fueron recolectadas desde mayo hasta junio de 2019 en las siguientes playas dominicanas: Caleta, Juan Dolio, San Andrés, Monte Río y La Saladilla (Figura 1). Se tomaron dos muestras en cada playa, con una diferencia temporal de 15 a 21 días. La distancia entre el punto de muestreo y la orilla del mar fue de a 5 a 15 metros, encontrándose presentes ambas especies de *Sargassum*. Posteriormente, las muestras se colocaron en un recipiente plástico para su traslado al laboratorio.



**Figura 1.** Localización geográfica de las playas en las que se recolectaron las muestras.

Las muestras se lavaron con agua destilada para eliminar la arena, organismos adheridos y otros materiales no deseados. El material algal se secó a la sombra durante un día y luego en un horno modelo (Thelco) a 60 °C durante 24 horas. Posteriormente se utilizó un molino manual de porcelana para pulverizar el material, siguiendo el procedimiento descrito por Zhao *et al.* (2018); después se tamizó con una tamizadora de Fischer

Scientific Company, durante 25 minutos. El tamiz utilizado fue de 600  $\mu\text{m}$  para lograr un tamaño de partícula pequeño y homogéneo.

Se pesaron con precisión 2.5 g de cada muestra con un modelo de balanza analítica CP225D (Sartorius, Alemania) y se transfirieron a un vaso de precipitados para el procedimiento de digestión. Todas las digestiones se realizaron por triplicado con 25 ml de ácido nítrico concentrado, usando una placa calefactora durante tres horas a 300 °C. Posteriormente, se enfriaron y filtraron; luego se añadió agua desionizada para completar 100 ml de disolución. Las disoluciones se analizaron mediante espectroscopia de absorción atómica (AAS), utilizando un instrumento modelo PinAAcle500 (PerkinElmer). El procedimiento de digestión se basó en el método 968.08 de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (Association of Official Analytical Chemists, 1990).

## **Preparación de la curva de calibrado**

La prueba de linealidad es necesaria para realizar estudios de determinación cuantitativa en ciencias químicas. De esta forma, la proporcionalidad entre la concentración del analito y su señal de respuesta se puede verificar para un método de análisis instrumental en el rango de concentración de las soluciones de muestra. La linealidad debe

mantenerse entre mediciones que tengan lugar en días diferentes (Gumustas & Ozkan, 2011).

Los puntos de la curva de calibración se obtuvieron a partir de un estándar 3 (calibración de elementos múltiples) suministrado por PerkinElmer. Éste tiene una concentración de 10 µg/ml de los elementos metálicos (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn) disueltos en 5 % HNO<sub>3</sub>. Se tomaron las correspondientes alícuotas de la disolución estándar, para preparar nuevas disoluciones de concentración adecuada para cada metal y así construir las correspondientes curvas de calibración. Se utilizó una disolución de ácido nítrico al 5 % para completar hasta 25 ml de disolución. Las lecturas de absorbancia se obtuvieron con la longitud de onda correspondiente para cada elemento según el procedimiento descrito por el fabricante del equipo. Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica de llama modelo PinAAcle500. Se midieron tres réplicas para cada disolución estándar en días diferentes.

## **Repetibilidad y precisión intermedia**

Se estudió la repetibilidad y precisión intermedia siguiendo el procedimiento descrito en Perez-Rodriguez *et al.* (2019). Para ello, se prepararon diferentes disoluciones de cada metal, conteniendo 0.02, 0.12 y 0.2 mg/l, y se analizaron mediante EAAF en condición de repetibilidad

(el mismo día con seis réplicas para cada metal). Por otro lado, los estudios de reproducibilidad se realizaron en tres días diferentes a las mismas concentraciones para cada metal, con seis repeticiones por día. Luego se calculó el coeficiente de variación entre días ( $CV_{\text{entre/día}}$ ) y el coeficiente de variación teórico según Horwitz ( $CV\%_{\text{Horwitz}}$ ) (González & Herrador, 2007).

## Veracidad

La veracidad del método se determinó a través de la prueba de recuperación, según el procedimiento descrito en Perez-Rodriguez *et al.* (2019). Se prepararon nueve disoluciones con una concentración de 0.1 mg/l de cada metal (que es un punto intermedio en la calibración de la curva). Luego, estas disoluciones se analizan mediante la técnica EAAF para cada metal. Los valores obtenidos se compararon con el valor esperado para cada caso y se calculó el porcentaje de recuperación correspondiente (R%).

Para verificar la linealidad de cada curva, se realizaron varios ensayos de linealidad para cada elemento metálico estudiado (Tabla 1). Los resultados indicaron que los parámetros de linealidad se encuentran dentro de los rangos aceptables según distintas pautas de validación analítica (Tetty, 2010; Anexo, 2014). La regresión lineal por el método

de mínimos cuadrados se utiliza ampliamente para estimar los coeficientes de regresión ( $R^2$ ) de una curva analítica (Gumustas & Ozkan, 2011). En este sentido, los valores obtenidos para este coeficiente ( $R^2 > 0.98$ ) y el coeficiente de correlación ( $r > 0.99$ ) (Kazusaki, Ueda, Takeuchi, & Ohgami, 2012) indican una fuerte relación lineal entre la absorbancia y la concentración dentro del rango estudiado para cada elemento.

**Tabla 1.** Valores de los parámetros de linealidad evaluados: coeficiente de correlación ( $r$ ); coeficiente de determinación ( $R^2$ ); coeficiente de variación ( $CV_f$ ); una desviación estándar relativa de la pendiente ( $Sb_{rel}$ ), y coeficiente de calidad ( $QC$ ) de cada curva de calibración comparada con los requisitos de aceptación (Tettey, 2010; Anexo, 2014).

<b>Rango lineal (0.02-0.2) mg/l de las curvas de calibración de los metales pesados estudiadas</b>							
<b>Parámetros</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>		<b>Requisitos de aceptación</b>
<b>Coefficiente de correlación (<math>r</math>)</b>	0.9982	0.9988	0.9976	0.9951	0.9962	0.9987	> 0.99
<b>Coefficiente de determinación (<math>R^2</math>)</b>	0.9963	0.9977	0.9953	0.9902	0.9923	0.9974	> 0.98
<b>Coefficiente de variación (<math>CV_f</math>)</b>	4.92	2.96	4.5	2.55	2.23	3.32	≤ 5%

<b>Desviación relativa estándar de la pendiente (<math>b</math>)</b>	0.65	0.54	1.05	1.70	1.22	0.29	$\leq 2\%$
<b>Coefficiente de calidad (<math>QC</math>)</b>	3.04	2.78	3.30	3.56	1.76	2.16	$\leq 5\%$

También se determinó la desviación de la pendiente de la línea de regresión ( $S_{b_{rel}}$ ) (Kazusaki *et al.*, 2012; Souza-de, & Junqueira, 2005) y el coeficiente de variación de los factores de respuesta ( $CV_f$ ) (Gumustas & Ozkan, 2011), para estimar la linealidad de las curvas de calibración para cada metal pesado. Estas pruebas también son utilizadas para evaluar la calidad de las curvas de calibración (Rodríguez, Valentín, Prieto, De-La-Torre, & Acosta, 2014; Rodríguez *et al.*, 2018). En estos casos, ambos parámetros fueron inferiores a los criterios de aceptación establecidos para la guía de validación seleccionada (Tettey 2010; Anexo, 2014).

El coeficiente de calidad ( $QC$ ) es otra herramienta quimiométrica que se usa para evaluar su linealidad (Van-Loce, Elskens, Croux, & Beernaert, 2002). El contraste correspondiente indicó que existe una alta correlación entre las variables en el rango de concentración.

La Tabla 2 muestra los resultados correspondientes de las pruebas de repetibilidad y precisión intermedia. Los coeficientes de variación de repetibilidad ( $CV_r\%$ ) para todas las concentraciones fueron menores al 3 % para cada metal. Este valor se considera el requisito de aceptación en los métodos espectroscópicos. Asimismo, los resultados muestran que los

coeficientes de variación de la reproducibilidad ( $CV_R\%$ ) para todas las concentraciones fueron satisfactorios por ser inferiores a los correspondientes coeficientes teóricos de Horwitz obtenidos entre días ( $CV_{Horwitz}\%$ ) (González & Herrador, 2007). Todos estos resultados indican que el método utilizado para cuantificar los metales estudiados en muestras de sargazo es de alta precisión.

**Tabla 2.** Valores de repetibilidad y ensayos de precisión intermedia a diferentes concentraciones de cada metal.

Metales	Cd			Cu			Pb		
c(M) mg/l	$CV_r$ %	$CV_R$ %	$CV_{Horwitz}$ %	$CV_r$ %	$CV_R$ %	$CV_{Horwitz}$ %	$CV_r$ %	$CV_R$ %	$CV_{Horwitz}$ %
0.02	2.39	0.71	16.68	2.43	0.44	14.80	2.29	0.72	16.01
0.12	0.85	0.23	12.63	2.24	0.59	12.67	2.55	2.92	12.43
0.2	0.48	0.52	11.70	1.09	0.43	11.69	2.36	1.36	11.59
Metales	Cr			Ni			Zn		
c(M) mg/l	$CV_r$ %	$CV_R$ %	$CV_{Horwitz}$ %	$CV_r$ %	$CV_R$ %	$CV_{Horwitz}$ %	$CV_r$ %	$CV_R$ %	$CV_{Horwitz}$ %
0.02	2.85	1.28	16.18	2.48	0.58	16.28	2.49	0.49	16.36
0.12	1.98	0.72	12.63	1.01	0.46	12.70	0.88	0.52	12.63



0.2	0.78	1.22	9.83	0.75	0.63	11.88	0.58	0.44	11.70
-----	------	------	------	------	------	-------	------	------	-------

La Tabla 3 muestra los resultados de la prueba de veracidad mediante porcentajes de recuperación. Todos los resultados estuvieron en el rango de 97 a 103 %; tal intervalo es el criterio de aceptación para este parámetro (Perez-Rodriguez *et al.*, 2019). Los valores de la estadística experimental *t-Student* fueron más bajos que los de la *t* tabulada ( $t_{tab}$ ) para un nivel de confianza del 95 % (1.860) en todos los casos. Dichos resultados garantizan la veracidad del método utilizado para determinar los metales pesados en muestras de sargazo.

**Tabla 3.** Valores del test de veracidad a concentraciones de 0.1 mol/l de cada metal.

Metales	Porcentaje de recuperación (R%)	<i>t</i> <sub>student</sub> experimental
Cd	99.73 ± 0.62	1.011
Cu	99.30 ± 1.26	1.277
Pb	99.56 ± 0.81	1.259
Cr	99.55 ± 2.57	0.402
Ni	99.38 ± 1.20	1.185

Zn 99.20 ± 1.05 1.751

---

## Resultados

La Tabla 4 muestra los resultados de la concentración de metales pesados en las muestras de *Sargassum*. Los resultados indican que los niveles más altos de metales analizados corresponden a *Sargassum natans* con 45.8808 ± 0.0117 mg/kg de Cu en Caleta (muestra LCN1). La capacidad de absorber este metal tóxico ha sido descrita previamente para *Sargassum angustifolium* (Niad, Rasoolzadeh, & Zarei, 2014) y *Sargassum fusiforme* (Huang & Lin, 2015).

**Tabla 4.** Concentración de metales pesados en especies del género *Sargassum*.

Mues- tras	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
LSN1	1.4890 ±	7.9476 ±	6.3997 ±	11.3048 ±	5.4091 ±	19.0306 ±
	0.1091	0.0830	0.3314	0.1273	0.7091	0.0666
LSF1	1.5311 ±	8.1482 ±	6.9668 ±	28.2665 ±	6.5979 ±	18.9011 ±
	0.0796	0.2435	0.1325	0.2832	0.4889	0.0392

<b>LSN2</b>	1.0793 ± 0.0454	4.7837 ± 0.0456	7.3972 ± 0.2537	12.2746 ± 0.2316	6.6418 ± 0.6167	16.3366 ± 0.0182
<b>LSF2</b>	0.7424 ± 0.2000	6.4727 ± 0.0765	9.4472 ± 0.5911	29.6237 ± 0.5299	6.8488 ± 0.4307	17.3856 ± 0.0208
<b>MRN1</b>	1.3888 ± 0.0641	9.6191 ± 0.2986	17.6599 ± 0.5623	14.4117 ± 0.4477	9.2254 ± 0.2444	20.0058 ± 0.0628
<b>MRF1</b>	1.2757 ± 0.4554	12.1823 ± 0.3921	20.9607 ± 0.5882	13.5043 ± 0.3579	9.8687 ± 0.1907	19.8335 ± 0.0780
<b>MRN2</b>	1.3649 ± 0.0423	8.2045 ± 0.2054	14.6157 ± 0.0903	10.8996 ± 0.0482	5.3689 ± 0.0605	18.8211 ± 0.0617
<b>MRF2</b>	1.4189 ± 0.0873	17.4560 ± 0.3191	26.1843 ± 0.6977	15.6371 ± 0.3793	11.8455 ± 0.4882	20.9246 ± 0.0382
<b>JDN1</b>	1.2910 ± 0.0665	8.0225 ± 0.1046	10.3038 ± 0.1519	13.1802 ± 0.3296	8.1241 ± 0.2811	20.2483 ± 0.0313
<b>JDF1</b>	1.5456 ± 0.0427	9.8623 ± 0.2085	19.1185 ± 0.3881	39.7820 ± 0.8125	9.9110 ± 0.4664	23.1751 ± 0.0498
<b>JDN2</b>	1.0788 ± 0.0301	13.0828 ± 0.1259	7.3807 ± 0.4269	16.3434 ± 0.2187	4.4933 ± 0.6698	18.2670 ± 0.0192
<b>JDF2</b>	1.0495 ± 0.0762	8.8529 ± 0.2494	6.7996 ± 0.1834	9.5024 ± 0.2304	5.9609 ± 0.5447	18.2744 ± 0.0127
<b>SAN1</b>	1.2766 ± 0.0742	15.4873 ± 0.3411	9.2189 ± 0.2879	38.3927 ± 0.7228	8.6155 ± 0.1083	27,0106 ± 0,0623
<b>SAF1</b>	1.6172 ± 0.0346	26.6124 ± 0.1620	11.9849 ± 0.8400	13.8533 ± 0.6523	8.6761 ± 0.3311	26.9182 ± 0.0528
<b>SAN2</b>	1.6439 ± 0.0555	23.1942 ± 0.4238	11.1565 ± 0.3131	10.1297 ± 0.1687	8.3094 ± 0.2232	27.0458 ± 0.1126
<b>SAF2</b>	1.5741 ± 0.0666	28.7445 ± 0.2803	11.8834 ± 0.6138	11.4414 ± 0.2917	7.8262 ± 0.3621	25.7614 ± 0.0623
<b>LCN1</b>	1.5209 ± 0.0456	45.8808 ± 0.4670	10.9738 ± 0.6287	13.1639 ± 0.3302	8.1397 ± 0.2805	22.2868 ± 0.1194

<b>LCF1</b>	1.2359 ±	23.2059 ±	11.3273 ±	12.3647 ±	10.1885 ±	22.1613 ±
	0.0463	0.2073	0.2251	0.2202	0.2916	0.0351
<b>LCN2</b>	1.5611 ±	10.0340 ±	8.1023 ±	11.7880 ±	8.0068 ±	23.3132 ±
	0.0448	0.1675	0.2135	0.2439	0.2784	0.0312
<b>LCF2</b>	1.0052 ±	8.8656 ±	10.8526 ±	11.7001 ±	8.2787 ±	24.3525 ±
	0.1410	0.3334	0.4921	0.3976	0.2491	0.1264

**Nota:** **LSN1:** *S. natans*, playa La Saladilla; **LSF1:** *S. fluitans*, playa La Saladilla; **LSN2:** *S. natans*, playa La Saladilla; **LSF2:** *S. fluitans*, playa La Saladilla; **MRN1:** *S. natans*, playa Monte Río; **MRF1:** *S. fluitans*, playa Monte Río; **MRN2:** *S. natans*, playa Monte Río; **MRF2:** *S. fluitans*, playa Monte Río; **JDN1:** *S. natans*, playa Juan Dolio; **JDF1:** *S. fluitans*, playa Juan Dolio; **JDN2:** *S. natans*, playa Juan Dolio; **JDF2:** *S. fluitans*, playa Juan Dolio; **SAN1:** *S. natans*, playa San Andrés; **SAF1:** *S. fluitans*, playa San Andrés; **SAN2:** *S. natans*, playa San Andrés; **SAF2:** *S. fluitans*, playa San Andrés; **LCN1:** *S. natans*, playa Caleta; **LCF1:** *S. fluitans*, playa Caleta; **LCN2:** *S. natans*, playa Caleta; **LCF2:** *S. fluitans*, playa Caleta.

Por un lado, estos resultados sugieren una posible aplicación de la biomasa de *Sargassum* como biosorbente en el tratamiento de aguas residuales contaminadas por cobre. Por otro lado, y considerando las concentraciones observadas para el cobre, se debe tener en cuenta la capacidad de *Sargassum* de captar y acumular Cu, con el objeto de garantizar la seguridad del material algal en determinadas aplicaciones. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 4, las muestras de la playa Caleta mostraron importantes diferencias, con un rango amplio en las concentraciones de cobre. Cabe destacar que en la primera toma de muestras (LCN1 y LCF1) se obtuvo una concentración superior a la segunda (LCN2 y LCF2).

Para *S. fluitans*, la mayor concentración observada fue para Ni, con  $39.7820 \pm 0.0204$  mg/kg en la localidad de Juan Dolio (muestra JDF1); sin embargo, en la segunda toma de muestras (muestra JDF2), esta

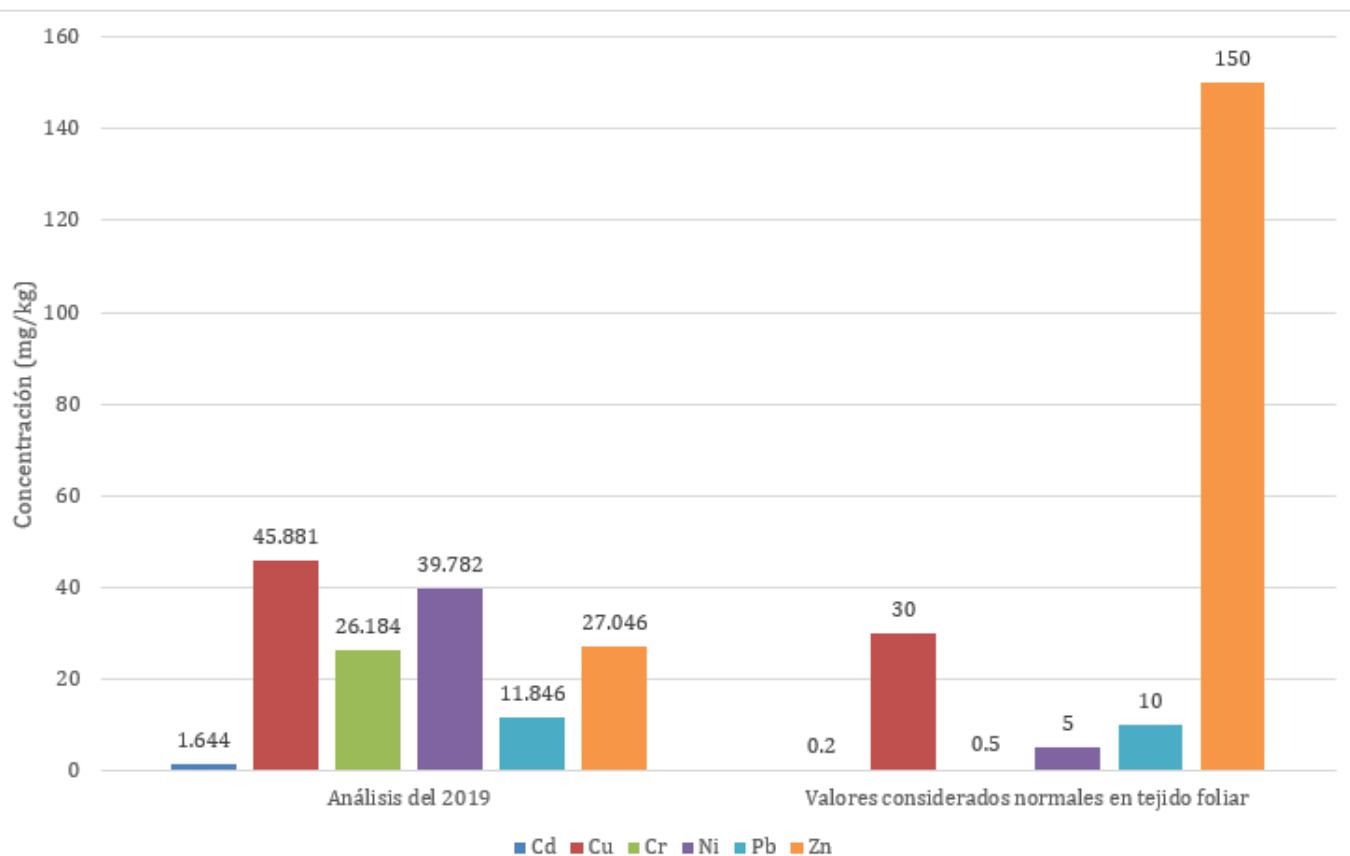
concentración se redujo en un orden de magnitud. En la playa de San Andrés se presentó un valor similar de  $38.3927 \pm 0.7228$  mg/kg para la especie *S. natans* (muestra SAN1). Se ha descrito la capacidad de biosorción de níquel para varias especies de *Sargassum* como *S. angustifolium* (Ahmady-Asbchin, Tabaraki, Jafari, Allahverdi, & Azhdehakoshpour, 2013) y *S. muticum* (González, Rodríguez, Gutiérrez, & Guibal, 2011). Esto muestra que la biomasa algal también podría usarse para eliminar el níquel del agua contaminada.

## Discusión

Todas las muestras presentaron concentraciones cuantificables de los metales estudiados (Pb, Cr, Ni, Cu y Zn). Con el objetivo de poder hacer una comparación con los resultados obtenidos, las concentraciones consideradas normales y el límite de aceptación para los metales analizados en el tejido foliar de las plantas se seleccionaron de la literatura (Kabata-Pendias, 2001).

La Figura 2 muestra que, con excepción del Zn, en *Sargassum*, los metales analizados se encuentran en una concentración más alta que en los tejidos foliares de las plantas. Este resultado es coherente con la conocida tendencia de dichas algas a bioacumular metales debido a la

presencia de polisacáridos y polifenoles en sus estructuras celulares. Estos cationes pueden atravesar las membranas de las algas utilizando transportadores iónicos, como los canales de Ca, o mediante un aminoácido de transferencia, como la cisteína. Además, los grupos carboxilo, sulfato, hidroxilo, amino y polisacáridos juegan un papel importante en la pared celular como sitios aceptores de metales (Sinaei, Loghmani, & Bolouki, 2018).



**Figura 2.** Comparación de los rangos máximos de concentración de metales pesados obtenidos en este análisis y de los valores considerados normales en tejido foliar (mg/kg).

Sin embargo, como se muestra en la Tabla 5, las concentraciones de los elementos encontrados en ambas especies de *Sargassum* y en todas las playas estudiadas están por debajo de los límites de aceptabilidad (Kabata-Pendias, 2001; Addico, & De-Graft-Johnson, 2016).

**Tabla 5.** Valores considerados normales y límite de aceptación en tejido foliar para los metales pesados de interés. Datos extraídos de Kabata-Pendias (2001), y Galán y Romero (2008).

<b>Elementos</b>	<b>Valores geoquímicos normales (mg/kg)</b>	<b>Valores considerados normales en tejidos foliares (mg/kg)</b>	<b>Límite de aceptabilidad en tejidos foliares (mg/kg)</b>
Cd	< 1-2	0.05 – 0.2	5-30
Cu	60	5-30	20-100
Cr	N.R.	0.1-0.5	5-30
Ni	2-100	0.1-5	10-100
Pb	10-150	5-10	30-300

Zn	25-200	27-150	100-400
----	--------	--------	---------

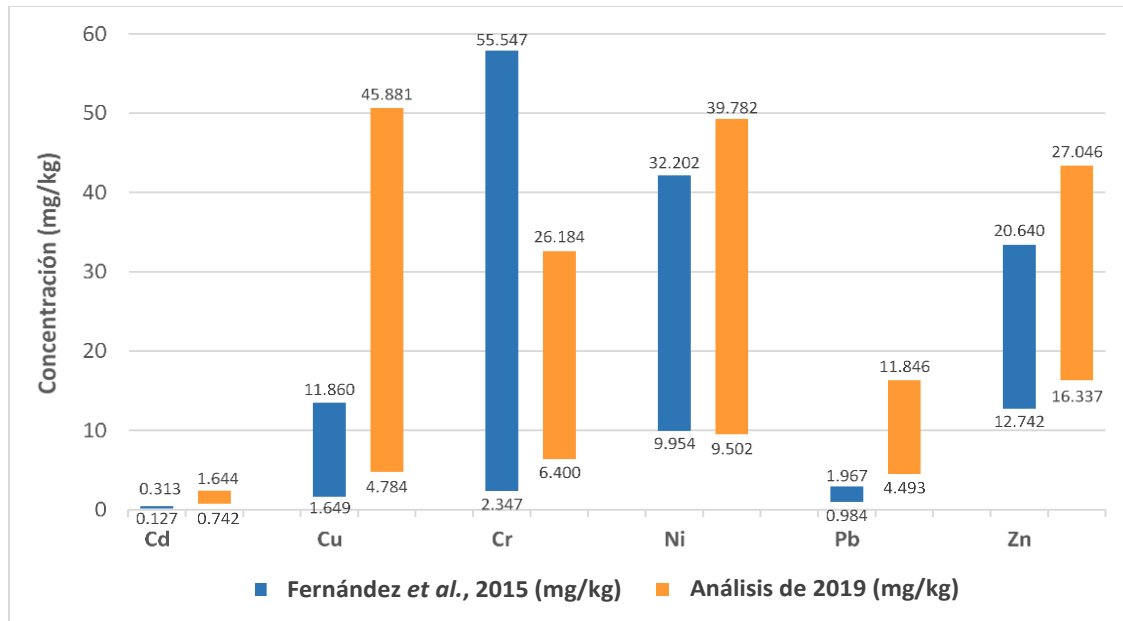
---

**Nota:** no reportado N.R.

Excepto para los suelos metalíferos, los rangos normales de concentración de metales pesados no son una amenaza para los seres vivos (Gardea-Torresdey, Peralta-Videa, De-la-Rosa, & Parsons, 2005). Ninguno de los metales analizados alcanzó niveles superiores a las concentraciones geoquímicas normales (Galán & Romero, 2008). Esto se puede evidenciar en los casos del Ni, Pb y Zn, para los que las concentraciones geoquímicas normales pueden ser mayores en un orden de magnitud respecto a los valores encontrados en la presente investigación. Sin embargo, para todas las muestras, el Cd está dentro del rango geoquímico normal (1-2 mg/kg). El cromo (Cr), con valores máximos de 26.1843 mg/kg, también está por debajo de los niveles normales y aceptables en tejido foliar (Tabla 5), y lejos del rango considerado crítico en suelo (75-100 mg/kg) (Gardea-Torresdey *et al.*, 2005).

En una investigación prospectiva previa, Fernández *et al.* (2017) analizaron, mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), el contenido de metales pesados y lantánidos de *S. natans* y *S. fluitans* arribados a las costas de República Dominicana durante 2015 (Fernández *et al.*, 2017). Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran, en comparación, resultados similares para Ni y Zn, pero diferencias relevantes para Cu, Cr, Pb y Cd, especialmente significativas en los dos últimos metales (Figura 3).





**Figura 3.** Comparación de los rangos de concentración de metales pesados del análisis prospectivo de 2015 (Fernández *et al.*, 2017) y este análisis.

Como se muestra en la Tabla 6, los niveles de Ni y Zn fueron similares en ambas investigaciones. Las concentraciones obtenidas en 2019 para Ni y Zn estuvieron cercanas a los valores informados por el estudio de 2015, aunque, en ocasiones, sus niveles fueron ligeramente superiores para el arribazón de 2019. El valor máximo obtenido para Ni fue 39.7820 mg/kg *versus* 32.2015 mg/kg del análisis de 2015, mientras que para Zn fue 27.0458 mg/kg frente a 20.6399 mg/kg obtenido en el estudio prospectivo realizado por Fernández *et al.* (2017).

**Tabla 6.** Comparación de los rangos de concentración de metales pesados del análisis prospectivo de 2015 (Fernández *et al.*, 2017) y este análisis.

<b>Elemento</b>	<b>Rangos de concentración para el análisis de Fernández <i>et al.</i> (2015) (mg/kg)</b>	<b>Rangos de concentración de este análisis (2019) (mg/kg)</b>
Cd	0.1271-0.3130	0.7424-1.6439
Cu	1.6493-11.8601	4.7837-45.8808
Cr	2.3465-55.5471	6.3997-26.1843
Ni	9.9543-32.2015	9.5024-39.7820
Pb	0.9837-1.9674	4.4933-11.8455
Zn	12.7417-20.6399	16.3366-27.0458

Sin embargo, el contenido de Cu fue mucho mayor en la presente investigación, con 45.8808 mg/kg (Figura 3), en comparación con la concentración máxima reportada en 2015 (11.8601 mg/kg). Un ejemplo opuesto se observó en el caso del Cr, con valores máximos de concentración de 55.5471 mg/kg en el estudio prospectivo de 2015, que contrastan con los niveles detectados en la investigación de 2019 (26.1843 mg/kg).

Como se muestra en la Tabla 6, la concentración para Pb y Cd presentó diferencias en un orden de magnitud sobre los valores del

análisis prospectivo de 2015. Este último mostró un máximo 1.9674 mg/kg para Pb y 0.3130 mg/kg para Cd, que contrastan con los valores obtenidos en la presente investigación: 11.8455 mg/kg para Pb y 1.6439 mg/kg para Cd, el valor más alto para este metal.

### **Análisis estadístico comparativo de la capacidad de biosorción de cada metal entre las especies**

Se utilizó la *t-Student* para comparar los datos de las dos especies estudiadas y determinar si las diferencias observadas tienen alguna significación estadística (Gutiérrez, & De-La-Vara, 2008). Para evaluar la existencia de alguna diferencia significativa entre las muestras analizadas, se comparó con el valor *p* de la prueba y el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Valor *p* para la prueba *t-Student* en la comparación de la capacidad biosorptiva entre *S. natans* y *S. fluitans* con valor significativo ( $\alpha = 0.05$ ).

<b>Elementos</b>	<b>Valor <i>p</i> para la prueba <i>t-Student</i></b>
Cd	0.537

Cu	0.930
Cr	0.184
Ni	0.430
Pb	0.099
Zn	0.734

---

Por tanto, con base en el hecho de que el valor  $p$  para todas las muestras fue superior al nivel de significancia, con un 95 % de confianza se establece que no existe diferencia significativa entre *S. natans* y *S. fluitans* encontrada en los cinco playas para los metales analizados: Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn.

## Conclusiones

Las concentraciones de los metales analizados en las especies estudiadas están dentro de los límites aceptables. Esto indica que las especies *S. natans* y *S. fluitans* que arribaron a las costas dominicanas en 2019 podrían ser utilizadas como fertilizante y para alimentación animal, sin

riesgos de intoxicación por los elementos analizados (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn). No obstante, para estos fines se requieren análisis adicionales, que incluyan otros elementos tóxicos, como Hg y As, a fin de garantizar la seguridad del material algal.

En el caso de Cu y Cr, existen importantes diferencias con el estudio prospectivo de 2015 (Fernández *et al.*, 2017), que llegan a ser de un orden de magnitud para Cd y Pb. Estudios futuros deberían aclarar si estas diferencias están correlacionadas con las fluctuaciones normales en los niveles de metales pesados entre las diferentes llegadas a la costa del material de algas.

En cuanto a la comparación de la capacidad de biosorción de ambas especies, el análisis estadístico de los datos permite concluir que no existe diferencia significativa en las concentraciones de los metales estudiados entre *S. natans* y *S. fluitans*. Esto sugiere que los mecanismos bioquímicos y factores involucrados en la capacidad de biosorción son similares entre ambas especies.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen el apoyo técnico recibido por el Laboratorio certificado (ISO: 9001: 2015) de Servicios Analíticos y Ambientales del INTEC. Estamos muy agradecidos a la directora del laboratorio, Adriana Rojas, por su inestimable contribución a la adquisición de los datos de AAS.

### **Referencias**

- Addico, G. N., & De-Graft-Johnson, K. A. (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
- Ahmady-Asbchin, S., Tabaraki, R., Jafari, N., Allahverdi, A., & Azhdehakoshpour, A. (2013). Study of nickel and copper biosorption on brown algae *Sargassum angustifolium*: Application of response surface methodology (RSM). *Environmental Technology*, 34(16), 2423-2431. DOI: 10.1080/09593330.2013.772643
- Ali, A. Y., Idris, A. M., Ebrahim, A. M., & Eltayeb, M. A. (2017). Brown algae (*Phaeophyta*) for monitoring heavy metals at the Sudanese Red Sea coast. *Applied Water Science*, 7(7), 3817-3824. DOI: 10.1007/s13201-017-0529-1
- Anexo, I. (2014). Buenas prácticas para laboratorio de control de medicamentos. En: *Validación de métodos analíticos* (pp. 3-25). La Habana, Cuba: Centro Estatal para el Control de Medicamentos (CECMED).
- Aouissi, M., Sellam, L. N., Boudouresque, C. F., Blanfuné, A., Derbal, F., Frihi, H., Perret-Boudouresque, M., Rebzani-Zahaf, C., Verlaque, M., & Thibaut, T. (2018). Insights into the species diversity of the genus *Sargassum* (*Phaeophyceae*) in the Mediterranean Sea, with a focus on a previously unnoticed taxon from Algeria. *Mediterranean Marine Science*, 19(1), 48-57. DOI: 10.12681/mms.14079

- Association of Official Analytical Chemists. (1990). Animal Feed. In: Kenneth Helrich (eds.). *Official methods of analysis* (p. 84). Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Barquilha, C. E., Cossich, E. S., Taveres, C. R., & Silva, E. A. (2019). Biosorption of nickel (II) and copper (II) Ions by *Sargassum* sp. in nature and alginate extraction products. *Bioresource Technology Reports*, 5, 43-50. DOI: 10.1016/j.biteb.2018.11.011
- CIT, Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. (2015). *Nota conceptual sobre la importancia de Sargassum y el Mar de los Sargazos para las tortugas marinas del Atlántico*. Recuperado de <http://www.iacseaturtle.org/docs/tecnicos/Mar-Sargazos-Tortugas%20Marinas-esp.pdf>
- Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement. (2015). *L'invasion des sargasses* Revue de presse «Caribes». Recuperado de [http://www.guadeloupe.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/150807\\_DEAL-Sargasse-V7\\_150820-1.pdf](http://www.guadeloupe.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/150807_DEAL-Sargasse-V7_150820-1.pdf)
- Fernández-Martínez, R., Rucandio, I., Gómez-Pinilla, I., Borlaf, F., García, F., & Larrea, M. T. (2015). Evaluation of different digestion systems for determination of trace mercury in seaweeds by cold vapour atomic fluorescence spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 38, 7-12. DOI: 10.1016/j.jfca.2014.10.003
- Fernández, F., Boluda, C. J., Olivera, J., Guillermo, L. A., Gómez, B., Echavarría, E., & Gómez, A. M. (2017). Análisis elemental

- prospectivo de la biomasa algal acumulada en las costas de la República Dominicana durante 2015. *Centro Azúcar*, 44(1), 11-22.
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48-60.
- Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *Revista de Ciencias de la Vida*, 15(1), 19-26.
- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., De-la-Rosa, G., & Parsons, J. G. (2005). Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 1797-1810.
- González, A. G., & Herrador, M. Á. (2007). A practical guide to analytical method validation, including measurement uncertainty and accuracy profiles. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 26(3), 227-238. DOI: 10.1016/j.trac.2007.01.009
- González, Y., Rodríguez, I. L., Gutiérrez, O., & Guibal, E. (2011). Nickel biosorption using *Gracilaria caudata* and *Sargassum muticum*. *Chemical Engineering Journal*, 166(1), 122-131. DOI: 10.1016/j.cej.2010.10.038
- Gower, J., Young, E., & King, S. (2013). Satellite image suggests a new *Sargassum* source region in 2011. *Remote Sensing Letters*, 4(8), 764-773. DOI: 10.1080/2150704X.2013.796433



- Gumustas, M., & Ozkan, S. A. (2011). The role of and the place of method validation in drug analysis using electroanalytical techniques. *The Open Analytical Chemistry Journal*, 5, 1-21. DOI: 10.2174/1874065001005010001
- Gutiérrez, H., & De-La-Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2<sup>nd</sup> ed.). México, DF, México: McGraw-Hill Interamericana.
- Gutiérrez, R., González, K. L., Valdés, O. R., Hernández, Y., & Acosta, Y. (2016). Algas marinas como fuente de compuestos bioactivos en beneficio de la salud humana: un artículo de revisión. *Biotecnia*, 18 (3), 20-27. DOI: 10.18633/biotecnia.v18i3.331
- Huang, S. & Lin, G. (2015). Biosorption of Hg(II) and Cu(II) by biomass of dried *Sargassum fusiforme* in aquatic solution. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 13(21), 1-8. DOI: 10.1186/s40201-015-0180-4
- Ibrahim, W. M. (2016). New trend for removing toxic heavy metals from drinking water by activated carbon based brown algae. *Biotechnology*, 15(3-4), 65-75. DOI: 10.3923/biotech.2016.65.75
- 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. *Proceeding of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute* (pp. 102-103). Recuperado de <http://gcrf.usm.edu/sargassum/docs/Johnson.et.al.Sargassum.event.in.Caribbean.2011.65th.GCFI.Abstract.pdf>

- Kabata-Pendias, A. (2001). *Trace elements in soils and plants* (3<sup>th</sup> ed.). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Kazusaki, M., Ueda, S., Takeuchi, N., & Ohgami, Y. (2012). Validation of analytical procedures by high-performance liquid chromatography for pharmaceutical analysis. *Chromatography*, 33(2), 65-73. DOI: 10.15583/jpchrom.2012.005
- Khan, N., Ryu, K. Y., Choi, J. Y., Nho, E. Y., Habte, G., Choi, H., Kim, M. H., Park, K. S., & Kim, K. S. (2015). Determination of toxic heavy metals and speciation of arsenic in seaweeds from South Korea. *Food Chemistry*, 169, 464-470. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.020
- León, Y. (2015). *Sobre la invasión de algas en RD*. Recuperado de <https://www.intec.edu.do/prensa/notas-de-prensa/item/sobre-la-invasion-de-algas-en-rd>
- Milledge, J. J., & Harvey, P. J. (2016). Golden tides: Problem or golden opportunity? The valorisation of *Sargassum* from beach inundations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 4(3), 60. DOI: 10.3390/jmse4030060
- Mohammed, C., Mahabir, S., Mohammed, K., John, N., Lee, K. Y., & Ward, K. (2019). Calcium alginate thin films derived from *Sargassum natans* for the selective adsorption of Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup> ions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(3), 1417-1425. DOI: 10.1021/acs.iecr.8b03691
- Moino, B. P., Costa, C. S., Da-Silva, M. G., & Vieira, M. G. (2017). Removal of nickel ions on residue of alginate extraction from *Sargassum*

*filipendula* seaweed in packed bed. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 95(11), 2120-2128. DOI: 10.1002/cjce.22859

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

Niad, M., Rasoolzadeh, L., & Zarei, F. (2014). Biosorption of copper (II) on *Sargassum angostifolium* C. Agardh phaeophyceae biomass. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 26(3), 176-183. DOI: 10.3184/095422914X14039722451529

Oliveira, R. C., Hammer, P., Guibal, E., Taulemesse, J. M., & García, O. (2014). Characterization of metal-biomass interactions in the lanthanum (III) biosorption on *Sargassum* sp. using SEM/EDX, FTIR, and XPS: Preliminary studies. *Chemical Engineering Journal*, 239, 381-391. DOI: 10.1016/j.cej.2013.11.042

Oyesiku, O. O., & Egunyomi, A. (2014). Identification and chemical studies of pelagic masses of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon and *S. fluitans* (Børgesen) Børgesen (brown algae), found offshore in Ondo State, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 13(10), 1188-1193. DOI: 10.5897/AJB2013.12335

Peng, J., Yuan, J. P., Wu, C. F., & Wang, J. H. (2011). Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: Metabolism and bioactivities relevant to human health. *Marine Drugs*, 9(10), 1806-1828.

- Perez-Rodriguez, Z., Rodríguez-Rodríguez, Y., Rodriguez-Negrin, Z., Molina-Ruiz, R., Medina-Marrero, R., & Ancede-Gallardo, E. (2019). Development of a new formulation for onychomycosis treatment using Furvina® as an active pharmaceutical ingredient. In: Cárdenas, R., Mochalov, V., Parra, O., & Martin, O. (eds.). *Proceedings of the 2nd International Conference on BioGeoSciences. BG 2017* (pp. 191-203). Cham, Switzerland, Springer.
- Raize, O., Argaman, Y., & Yannai, S. (2004). Mechanisms of biosorption of different heavy metals by brown marine macroalgae. *Biotechnology and Bioengineering*, 87(4), 451-458. DOI: 10.1002/bit.20136
- Resiere, D., Valentino, R., Nevière, R., Banydeen, R., Gueye, P., Florentinc, J., Cabié, A. Lebrun, T., Mégarbane, B., Guerrie, G., & Mehdaoui, H. (2018). *Sargassum* seaweed on Caribbean islands: An international public health concern. *The Lancet*, 292(10165), 2691.
- Resiere, D., Mehdaoui, H., Névière, R., & Mégarbane, B. (2019). *Sargassum* invasion in the Caribbean: The role of medical and scientific cooperation. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 43. DOI: 10.26633/RPSP.2019.52
- Rodríguez, Y., Valentín, I., Prieto, J. O., De-La-Torre, J. B., & Acosta, F. (2014). Validación del método ensayo al fuego combinado con espectrofotometría de absorción atómica (EF-EAA). *Anuario de la Sociedad Cubana de Geología*, (2), 143-149.
- Rodríguez-Martínez, R. E., Medina-Valmaseda, A. E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L. V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B.,

- Vásquez-Yeomans, L., Francisco, V., & García-Rivas, M. C. (2019). Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 201-205.
- Rodríguez-Rodríguez, Y., Rivera-Borroto, O. M., García-de la Vega, J. M., Basilio-de-la-Torre, J., Valentín-Rodríguez, I., & Pino, L. (2018). Determination of gold in geological samples combining the fire assay and ultraviolet visible spectrophotometry techniques. *Academia Journal of Scientific Research*, 6(1), 27-33. DOI: 10.15413/ajsr.2017.0112
- Sheng, P. X., Ting, Y. P., Chen, J. P., & Hong, L. (2004). Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: Characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1), 131-141. DOI: 10.1016/j.jcis.2004.01.036
- Sinaei, M., Loghmani, M., & Bolouki, M. (2018). Application of biomarkers in brown algae (*Cystoseria indica*) to assess heavy metals (Cd, Cu, Zn, Pb, Hg, Ni, Cr) pollution in the northern coasts of the Gulf of Oman. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 675-680. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.08.074
- Souza-de, S. V., & Junqueira, R. G. (2005). A procedure to assess linearity by ordinary least squares method. *Analytica Chimica Acta*, 552(1-2), 25-35. DOI: 10.1016/j.aca.2005.07.043
- Széchy, M., Guedes, P., Baeta-Neves, M., & Oliveira, E. (2012). Verification of *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from the Sargasso Sea off the

coast of Brazil, western Atlantic Ocean. *Check List*, 8(4), 638-641.  
DOI: 10.15560/8.4.638

Tamayo, A. I., Guas, A. M., Leyte-Vidal, J. J., & Maccini, M. (2014). Analytical method for heavy metal determination in algae and turtle eggs from Guanahacabibes Protected Sea Park. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, 4(4), 145-154.

Tettey, J. (2010). *Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos*. New York, EUA: Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito.

Trica, B., Delattre, C., Gros, F., Ursu, A. V., Dobre, T., Djelveh, G., Michaud, P., & Oancea, F. (2019). Extraction and characterization of alginate from an edible brown seaweed (*Cystoseira barbata*) harvested in the Romanian Black Sea. *Marine Drugs*, 17(7), 405.  
DOI: 10.3390/md17070405

Van-Locho, J., Elskens, M., Croux, C., & Beernaert, H. (2002). Linearity of calibration curves: Use and misuse of the correlation coefficient. *Accreditation and Quality Assurance*, 7, 281-285. DOI: 10.1007/s00769-002-0487-6

Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. P. (2019). The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science*, 365(6448), 83-87. DOI: 10.1126/science.aaw7912

Zhao, L., Wang, J., Zhang, P., Gu, Q., & Gao, C. (2018). Absorption of heavy metal ions by alginate. *Bioactive Seaweeds for Food Applications*, 255-268. DOI: 10.1016/B978-0-12-813312-5.00013-3