

ANÁLISIS ELEMENTAL PROSPECTIVO DE LA BIOMASA ALGAL ACUMULADA EN LAS COSTAS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA DURANTE 2015

PROSPECTIVE ELEMENTAL ANALYSIS OF ALGAL BIOMASS ACUMULATED AT THE DOMINICAN REPUBLIC SHORES DURING 2015

*Fernando Fernández¹, Carlos José Boluda¹, Jesús Olivera¹, Luis Alberto Guillermo¹,
Bolívar Gómez¹, Enmanuel Echavarría¹ y Aris Mendís Gómez^{1*}*

¹ Laboratorio de la Dirección General de Aduanas de República Dominicana
Calle Carlos Sánchez, esquina Lope de Vega, Ensanche Naco, Santo Domingo, República Dominicana.

Recibido: Julio 7, 2016; Revisado: Julio 26, 2016; Aceptado: Septiembre 8, 2016

RESUMEN

La acumulación y descomposición de cantidades masivas de las algas pardas *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* en las costas antillanas se ha convertido en un problema importante de Centroamérica y el Caribe, afectando gravemente al turismo. No obstante el valor de la biomasa algal no debe ser subestimado, dado que contienen compuestos orgánicos bioactivos con aplicación industrial, o en un uso más tradicional como fertilizante. Por otra parte, las algas tienen capacidad para bioacumular metales tóxicos como Hg, Pb, Cd, Ni y Cr entre otros. Con el objeto de asegurar la inocuidad de este material biológico en sus posibles aplicaciones, se ha llevado a cabo un estudio prospectivo sobre su contenido en distintos metales de transición y tierras raras. Se detectaron niveles ligeramente elevados de Hg, lo que podría limitar la utilización de la biomasa. También se determinó el contenido en Sc (escandio), Y (itrio) y de 14 Lantánidos (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu) que en conjunto se conocen como tierras raras, encontrándose niveles más elevados que en el océano. Este hecho es consistente con la hipótesis que sitúa el origen de estas algas a latitudes más australes, dónde proliferan al abrigo de la desembocadura de grandes ríos.

Palabras clave: algas, metales tóxicos, tierras raras, *Sargassum*, feofíceas.

Copyright © 2017. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Aris M. Gómez, Email: ar.gomez@dga.gov.do

ABSTRACT

The massive accumulation and decomposition of the *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* brown seaweeds on the Antillean shores has become a major problem in Central America and the Caribbean, seriously affecting tourism. However, the value of the algal biomass should not be underestimated, since it contains bioactive compounds with industrial application or in a more traditional use as fertilizers. On the other hand, seaweeds have the ability to bioaccumulate toxic metals such as Hg, Pb, Cd, Ni and Cr, among others. In order to ensure the safety of this biological material in its possible applications, it has been carried out a prospective study of the content in different transition metals and rare earths. Slightly elevated mercury levels were detected, which could limit the use of biomass. The content in Sc (scandium), Y (yttrium) and 14 lanthanides (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb and Lu), collectively known as rare earths, was also determined, being higher than in the ocean levels. This is consistent with the hypothesis that places the origin of these algae to more southern latitudes, where they proliferate in the shelter of the mouth of large rivers.

Key words: seaweeds, toxic metals, rare earth elements, *Sargassum*, brown algae.

1. INTRODUCCIÓN

Las algas pardas o feofíceas incluyen a unas 1500-2000 especies (Sitte et al., 2004) y presentan un desarrollo notable en las regiones frías y templadas del océano. Estas algas figuran entre las plantas marinas de desarrollo más elevado y muestran, en sus grupos más evolucionados, órganos denominados filoides, cauloides y rizoides que recuerdan a las hojas, tallos y raíces de las plantas superiores (Sitte et al., 2004).

Sargassum fluitans (Børgesen) Børgesen 1914 y *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon 1928 son dos algas pardas de vida libre (Davis et al., 2003) que flotan libremente por medio de vesículas denominadas aerocistos y se reproducen por fragmentación del talo (Sitte et al., 2004, Muñoz, 2013 y Széchy et al., 2012). Habitualmente se asocian a una región de aguas oligotróficas (Gower et al., 2013) de contorno elíptico (Muñoz, 2013) que está localizada en el Atlántico noroccidental conocida como Mar de los Sargazos.

Ambas especies de algas pueden alcanzar las costas, acumulándose en cantidades importantes en todo el arco del caribe, desde las Antillas Menores, hasta Cuba (Moreira et al., 2013). Estas llegadas masivas de *Sargassum* también han afectado recientemente a Belize, Caribe Mexicano e incluso, la costa de Texas (Galvestone) en Estados Unidos, pasando por Puerto Rico, República Dominicana y Jamaica (DEAL, 2015).

Las acumulaciones masivas de estas feofíceas pueden ejercer un impacto negativo sobre la actividad pesquera, tal como ocurrió en 2011 en las Antillas Menores (Gower et al., 2013), en 2012 en Nigeria (Oyesiku y Egunyomi, 2014), afectando también al turismo, tal como sucedió en 2015 en República Dominicana.

El origen de estas algas, que han alcanzado las costas dominicanas masivamente durante el verano de 2015, es controvertido y la cuestión sigue sin respuesta definitiva hasta la fecha. Según (Oyesiku y Egunyomi, 2014), el hecho de que ambas especies aparezcan mezcladas en la línea de costa, tal como sucedió en Nigeria en julio de 2012, sugiere que la fuente de la invasión podría localizarse en el Mar de los Sargazos, dónde ambas

algas coexisten. En efecto, la arribazón acontecida en las costas dominicanas en 2015 ha sido atribuida a ambas especies, si bien en el muestreo realizado en las playas de Boca Chica, Guayacanes y Barahona se ha observado un claro predominio de *Sargassum fluitans*, en coherencia con la arribazón en la Bahía de Cienfuegos (Cuba) de 2012, que fue catalogada como monoespecífica (Moreira et al., 2013). Por otra parte, teniendo en cuenta los antecedentes de 2011, podría ser que la fuente de la biomasa no esté localizada en esta región del Atlántico Norte sino mucho más al sur. Así pues, se ha sugerido que la invasión de Sargazo que tuvo lugar en el verano de 2011 (Gower et al., y Johnson et al., 2013), puede haber tenido su origen en alguna zona de la denominada Región Norte-Ecuatorial de Recirculación (NERR), teniendo especial importancia la desembocadura del río Amazonas, en la costa atlántica de Suramérica. Esta idea está apoyada por el hecho conocido de que, aunque el crecimiento de *Sargassum natans* está limitado en aguas oceánicas, éste sufre un notable incremento en aguas costeras por el aporte de aguas ricas en nutrientes desde las zonas continentales (Lapointe et al., 1995). Este puede ser el factor de mayor relevancia en la proliferación de estas especies de *Saragassum*, en el que los aportes de nutrientes de origen fluvial por parte de los ríos como el Amazonas en Sudamérica o el Misisipi en el Golfo de México, tienen un papel determinante.

Con independencia de su origen, una vez alcanza la costa y bajo condiciones de elevada humedad, la biomasa algal se descompone rápidamente emitiendo sustancias que poseen olores desagradables pudiendo ser incluso tóxicas. Ante los efectos perjudiciales que para la economía tiene la acumulación masiva de estas especies en la línea de costa, se ha sugerido que podría obtenerse beneficios de tales eventos (Oyesiku y Egunyomi 2014). Así por ejemplo, las algas pardas se han utilizado tradicionalmente como fertilizantes agrícolas (López-Mosquera et al., 2011) y en alimentación animal, habiéndose sugerido tal uso para la biomasa que se acumula en la costa (Moreira et al., 2012). No obstante, las posibles aplicaciones de estas algas deben ser analizadas con cautela, debido a la capacidad que tienen de acumular metales tóxicos. El término biosorción se utiliza para describir la capacidad que tiene cierto material inerte de origen biológico, para unirse de manera pasiva por absorción y/o adsorción a metales tóxicos (Davis et al., 2003). La elevada capacidad biosortiva de las algas pardas (Phaeophyceae) para los metales como Pb, Cu, Cd, Ni, Mn, Co, Cr y Zn es bien conocida (Agusto et al., 2001, Davis et al., 2000, Davis et al., 2003, Volesky et al., 1995, Diniz y Volesky, 2005). Así por ejemplo, la biomasa seca de especies de los géneros *Ascophyllum* y *Sargassum* puede concentrar plomo y cadmio de disoluciones muy diluidas, pudiendo acumular más del 30% de su peso seco en metales (Volesky et al., 1995). Dentro de las algas pardas, los órdenes Laminariales y Fucales, dónde se incluye el género *Sargassum*, son los más importantes en lo que a procesos de biosorción se refiere y ello se debe a la abundancia de polisacáridos que integran la matriz de la pared celular y que, en las feofíceas, están formados predominantemente por alginatos y fucoidanos. Esta capacidad de la biomasa no debe ser confundida con otra propiedad conocida como bioacumulación que, por el contrario, hace referencia a la retención de determinados elementos mediante un mecanismo activo, controlado por el metabolismo celular (Davis et al., 2003). En este sentido se sabe que las algas, y en especial las algas pardas, poseen la capacidad de bioacumular metales tóxicos y por ello

son utilizadas como bioindicadores para la contaminación por estos metales. Para garantizar que la biomasa algal no contenga elementos tóxicos que puedan introducirse en la cadena alimentaria o contaminar el medio ambiente, desde el Laboratorio de la Dirección General de Aduanas de República Dominicana se llevó a cabo un análisis prospectivo de metales de transición del material biológico acumulado en las playas de Boca Chica (Santo Domingo), Guayacanes (San Pedro de Macorís) y Ojeda (Barahona) durante el año 2015. Se analizaron también los elementos conocidos como tierras raras, en dónde se incluyen los Lantánidos, el escandio e itrio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Un mínimo de 4 muestras fueron recolectadas en el mes de octubre (2015) en cada uno de los lugares de muestreo: playa de Ojeda (provincia de Barahona), playas de Boca Chica (provincia de Santo Domingo) y Guayacanes (provincia de San Pedro de Macorís). Las muestras fueron introducidas en contenedores plásticos con agua de mar y transportadas hasta el Laboratorio de la Dirección General de Aduanas dónde se llevó a cabo su clasificación atendiendo a los caracteres morfológicos diferenciales que muestran ambas especies y que están recogidos en la literatura (Széchy et al., 2012, Moreira et al., 2013, Oyesiku y Egunyomi, 2014). Se confirmó la presencia de ambas especies, tanto de *Sargassum fluitans* como de *Sargassum natans*, pero con un claro predominio de la primera.

Ambas especies fueron identificadas atendiendo a diferencias morfológicas a nivel de los filoides (Moreira et al., 2013), que son lanceolados y puntiagudos en *S. fluitans* y más estrechos en *S. natans* (Széchy et al., 2012), y también a partir de diferencias en los aerocistos, que están provistos de espinas en *S. natans* pero no en *S. fluitans*, tal como se aprecia en la Figura 1 (Széchy et al., 2012, Morerira et al. 2013, Oyesiku et al., 2014). Por otra parte, los aerocistos de *S. fluitans* poseen un pedúnculo más corto que los de *S. natans* y están provistos de un ala de tejido alrededor (Oyesiku y Egunyomi 2014).

El procesamiento de las muestras incluyó un lavado inicial con agua, seguido de un lavado con agua desionizada y secado utilizando una cámara de secado por convención natural marca Binder modelo ED115 E2, durante 24 horas a 110 °C. Posteriormente las muestras fueron homogeneizadas mediante pulverización y tamización. La digestión del material se llevó a cabo preparando por duplicado 500 mg de cada muestra, que fueron vertidos en un vial de teflón de 75 mL, a los que se agregaron 7,0 mL de HNO₃ al 69 %, 1,5 mL de H₂O₂, 0,5 mL de HF (40-45 %) y 2,0 mL de agua desionizada. Para la digestión se empleó un digestor PerkinElmer modelo Titan MPS. El HF residual fue tratado con H₃BO₃ y se procedió a colocar nuevamente los viales en el sistema de preparación de muestras.

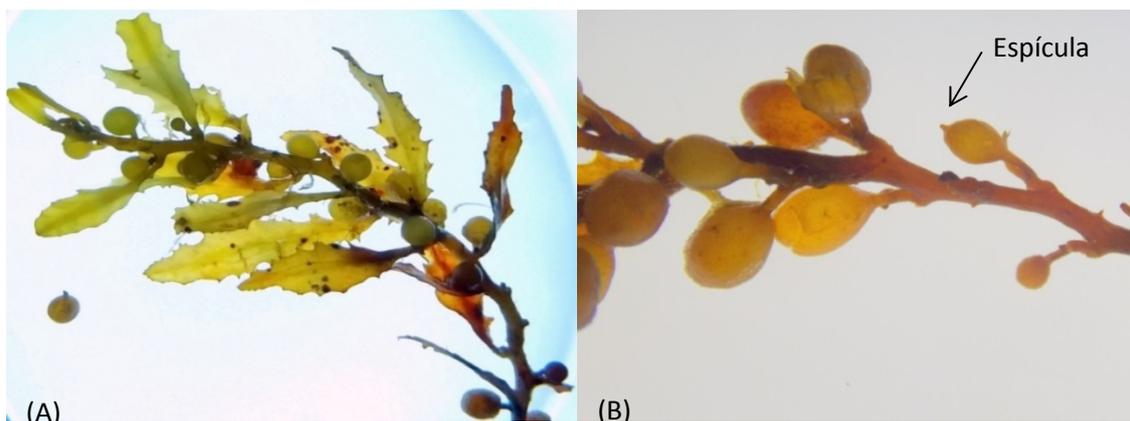


Figura 1. *Sargassum fluitans* (A) y detalle de los aerocistos de *Sargassum natans* (B). *S. fluitans* presenta aerocistos desprovistos de espinas y dotados de un pedúnculo corto por el que se unen al caulóide del talo, en cambio *S. natans* está dotada de aerocistos espiculados con pedúnculos largos.

Tras filtrar y el contenido de las muestras fue vertido en matraces aforados de 250 mL, completando con agua desionizada hasta la línea de aforo. Posteriormente se tomó un (1) mL de las mismas, se diluyeron en un matraz y se aforaron en 100mL con una disolución al 2 % w/v de ácido nítrico (TraceMetal Grade de Scharlau, Cat#AC16171000) preparada con agua desionizada con una resistividad de 18,2 M . Para la cuantificación de los elementos presentes en las muestras estudiadas se empleó un espectrómetro de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) marca PerkinElmer, modelo NexION 300X. Para cada uno de los analitos se estableció una curva de calibración, llevándose a cabo los análisis por triplicado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En comparación con las concentraciones geoquímicas consideradas normales por Bowie y Thornton (Galán y Romero, 2008), no se detectaron niveles elevados de As, Cd, Cu, Mo, Ni, Pb, Se y Zn (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de los valores obtenidos tras el análisis de la biomasa con las concentraciones geoquímicas normales de algunos elementos traza en suelo

<i>Elemento</i>	<i>Boca Chica (mg/kg)</i>	<i>Guayacanes (mg/kg)</i>	<i>Ojeda (mg/kg)</i>	<i>Rango geoquímico normal (mg/kg)</i>
As	42,3015	31,7396	13,6838	<5-40
Cd	0,3130	0,2807	0,1271	<1-2
Cu	8,7026	11,8601	1,6493	60
Mo	2,9803	1,3934	0,5834	<1-5
Ni	32,5015	11,2297	9,9543	2-100
Pb	1,9674	0,9837	1,0036	10-150
Se	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<1-2
Zn	20,6399	12,7417	15,6624	25-200

Los valores de Be, Cr y Co no excedieron de forma significativa los niveles máximos permitidos por los países más restrictivos (Galán y Romero 2008, Belmonte et al., 2010), tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de los resultados obtenidos con los valores máximos permitidos de Be, Cr, Co y Hg por los países indicados en la tabla

<i>Elemento</i>	<i>Boca Chica (mg/kg)</i>	<i>Guayacanes (mg/kg)</i>	<i>Ojeda (mg/kg)</i>	<i>Máximo admisible (mg/kg)</i>	<i>País</i>
Be	0,0528	0,0296	0,0060	10	Austria/Polonia
Cr	55,5471	11,1001	2,3465	50	Gran Bretaña
Co	1,0884	0,8522	0,3964	25	Canadá
Hg	0,545	1,445	1,430	10	Alemania

La concentración de talio (Tl), elemento que posee una elevada toxicidad (Tabla 5), resultó ser un orden de magnitud menor respecto a los valores naturales del suelo (0,3-0,7 ppm) (HHS 1992).

No obstante, en dos de las tres localidades en las que se llevó a cabo el muestreo, se detectaron concentraciones ligeramente elevadas de mercurio (Tabla 2) si bien estos valores no son tan altos como otros citados en la literatura, en el que se observa una elevada contaminación de las feofíceas con valores que oscilan desde 4,65 ppm (*Turbinaria triquetra*) hasta los 7,61 ppm (*Padina boryana*) (El-Naggar y Al-Amoudi, 1989). Debe tenerse en cuenta que la utilización de la biomasa algal como fertilizante podría elevar de forma innecesaria los niveles de mercurio en los suelos dominicanos.

Un inconveniente adicional para la utilización de estas algas como fertilizantes podría ser los altos niveles de sodio, calcio y magnesio presentes y que podrían provocar la salinización de los suelos de cultivo (Tabla 3). En este sentido, destacan los elevados valores de calcio encontrados, mayores incluso que los valores geoquímicos promedio de la corteza terrestre. Tal como se recoge en la Tabla 5, los niveles algales de estos cuatro metales alcalinos y alcalinotérreos son muy superiores en comparación con la del agua de mar.

Tabla 3. Comparación de los niveles de sodio, potasio, magnesio y calcio de la biomasa algal con las concentraciones geoquímicas promedio de la corteza terrestre y en agua de mar

<i>Elementos</i>	<i>Playa Boca Chica (mg/kg)</i>	<i>Playa Guayacanes (mg/kg)</i>	<i>Playa Ojeda Barahona (mg/kg)</i>	<i>Concentraciones en la corteza terrestres (mg/kg)</i>	<i>Concentración en el océano (mg/kg)</i>
Na	21068,447	17412,888	3801,949	23000	10600
K	33601,656	21348,427	2208,373	9100	380
Mg	10211,149	18240,484	17190,199	32000	1200
Ca	96901,000	133400,000	131420,000	52900	400

Estos estudios prospectivos deberán ampliarse, incluyendo un muestreo más amplio y deberán preceder a cualquier utilización que se pretenda dar a la biomasa, fruto de futuras arribaciones de estas algas a las costas dominicanas. Ello evitaría posibles problemas de salud pública y contaminación medioambiental.

En relación a los metales conocidos como tierras raras se observa que estas algas poseen una concentración menor que la corteza terrestre (Tabla 4), pero niveles mucho mayores respecto al agua de mar, en la que las concentraciones son del orden de partes por trillón (ppt = ng/kg) en lugar de partes por millón (ppm = mg/kg) (Generalic, 2015).

Tabla 4. Comparación de los niveles de tierras raras detectados en la biomasa algal con su concentración geoquímica promedio de la corteza terrestre y en el agua de mar.

<i>Elemento</i>	<i>Playa Boca Chica (mg/kg)</i>	<i>Playa Guayacanes (mg/kg)</i>	<i>Playa Ojeda (mg/kg)</i>	<i>Concentraciones Geoquímicas (mg/kg)</i>	<i>Concentración en océano (mg/kg)</i>
Ce	1,8758	3,1506	0,3529	33	0,0004
Dy	0,0874	0,0851	0,0406	3,6	0,0000002
Er	0,0699	0,0632	0,0397	2,2	0,0000002
Eu	0,0258	0,0159	0,0120	1,1	0,00000004
Gd	0,1187	0,1174	0,0471	3,3	0,0000002
Ho	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,78	0,00000008
La	1,0074	0,5413	0,2498	16	0,0003
Lu	0,0049	0,0033	<0,0001	0,3	-
Nd	0,5655	0,4296	0,1746	16	0,000003
Pr	0,1901	0,1233	0,0491	3,9	0,0000002
Sc	6,6598	5,3913	1,3497	30	0,00004
Sm	0,1257	0,1056	0,0480	3,5	0,0000002
Tb	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,6	0,0000014
Tm	0,0064	0,0083	0,0026	0,32	0,00000004
Y	0,7772	0,6386	0,1080	20	0,0003
Yb	0,0539	0,0554	0,0213	2,2	0,0000002

Este hecho sugiere que estas algas pelágicas son capaces de concentrar estos metales hasta en seis órdenes de magnitud, respecto a su concentración en el agua de mar, como ocurre en el caso del Praseodimio (Pr). Una explicación alternativa sería asumir que estas algas, han proliferado en agua más ricas en estos metales (Figura 2), al abrigo de la desembocadura de grandes ríos como el Amazonas que aportarían importantes cantidades de sedimentos provenientes de la meteorización de suelos y rocas.

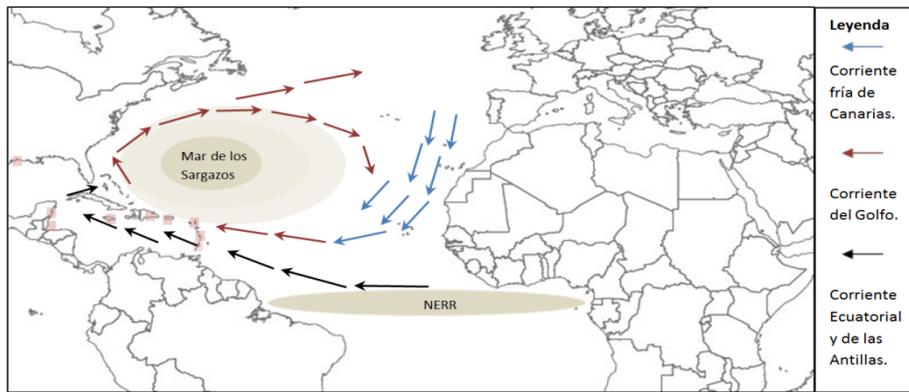


Figura 2. Localización geográfica del Mar de los Sargazos y de la Región Norte-ecuatorial de Recirculación (NEER). Los cuadrados rojos marcan las arribazones durante el verano de 2015 (DEAL 2015)

Los valores obtenidos para la totalidad de los elementos analizados se muestran en la Tabla 5. Entre los elementos estudiados se muestran 16 de los 17 elementos conocidos como Tierras Raras.

Tabla 5. Concentraciones en ppm de los diferentes metales analizados empleando ICP-MS

<i>Elemento</i>	<i>Playa Boca Chica (mg/kg)</i>	<i>Playa Guayacanes (mg/kg)</i>	<i>Playa Ojeda Barahona (mg/kg)</i>	<i>Elemento</i>	<i>Playa Boca Chica (mg/kg)</i>	<i>Playa Guayacanes (mg/kg)</i>	<i>Playa Ojeda Barahona (mg/kg)</i>
Ag	0,2187	0,5775	<0,0001	Nb	0,5235	0,2157	0,0799
Al	4187,5868	2,454.6140	303,0668	Nd	0,5655	0,4296	0,1746
As	42,3015	31,7396	13,6838	Ni	32,5015	11,2297	9,9543
B	116294,2362	112288,5137	102243,0922	P	760,6717	1144,7680	1104,0257
Ba	16,5469	12,3204	6,7965	Pb	1,9674	0,9837	1,0036
Be	0,0528	0,0296	0,0060	Pr	0,1901	0,1233	0,0491
Bi	<0,0001	<0,0001	<0,0001	Rb	10,1858	4,3853	0,3347
Ca	96901,00	133400,00	131420,00	Re	0,0025	0,0002	<0,0001
Cd	0,3130	0,2807	0,1271	S	70,3476	60,1942	67,0322
Ce	1,8758	3,1506	0,3529	Sc	6,6598	5,3913	1,3497
Co	1,0884	0,8522	0,3964	Se	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Cr	55,5471	11,1001	2,3465	Si	53607,5084	55775,9744	24883,3263
Cs	0,0847	0,2241	0,0037	Sm	0,1257	0,1056	0,0480
Cu	8,7026	11,8601	1,6493	Sr	1390,6533	1436,4561	1161,7315
Dy	0,0874	0,0851	0,0406	Ta	0,0356	0,0244	0,0394
Er	0,0699	0,0632	0,0397	Tb	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Eu	0,0258	0,0159	0,0120	Th	0,4266	0,1438	0,0437
Fe	655,3476	287,1815	20,0874	Ti	91,7045	74,7392	37,2741
Ga	1,3823	0,7084	0,3403	Tl	0,0271	0,0106	0,0018
Gd	0,1187	0,1174	0,0471	Tm	0,0064	0,0083	0,0026
Ge	0,3589	0,1861	0,0812	U	0,7242	0,5591	0,2480

Hg	0,545	1,445	1,430	V	2,8385	2,4281	1,0847
Ho	<0,0001	<0,0001	<0,0001	W	0,2940	0,0712	0,0329
In	<0,0001	<0,0001	<0,0001	Y	0,7772	0,6386	0,1080
K	33601,6568	21348,4270	2208,3732	Yb	0,0539	0,0554	0,0213
La	1,0074	0,5413	0,2498	Zn	20,6399	12,7417	15,6624
Li	3,5429	3,1240	0,5372	Zr	33,9454	38,2162	7,5744
Lu	0,0049	0,0033	<0,0001	El Prometio (Pm), perteneciente a los Lantánidos, no se incluyó en este estudio por tener origen sintético y no aislarse por tanto de fuentes naturales.			
Mg	10211,1499	18240,4842	17190,1991				
Mn	32,2248	28,1574	15,6220				
Mo	2,9803	1,3934	0,5834				
Na	21068,4476	17412,8882	3801,9491				

4. CONCLUSIONES

1. En el presente estudio no se han detectado niveles preocupantes de ninguno de los elementos estudiados en la biomasa algal, no obstante su posible uso como fertilizante agrícola o en alimentación animal, podría incrementar las concentraciones de metales tóxicos y sales en los suelos y/o de incorporarlos a la cadena alimentaria.
2. La comparación entre las concentraciones de tierras raras del agua de mar y los detectados en la biomasa algal revela importantes anomalías de varios órdenes de magnitud, lo que podría indicar que estas algas son capaces de bioacumular estos metales. Otra posible explicación a estos resultados parece apoyar la hipótesis que sitúa el origen de la biomasa en la Región Norte-Ecuatorial de Recirculación (NERR) (Figura 2), en la que los aportes fluviales de ríos como el Amazonas producirían una mayor exposición a estos metales

REFERENCIAS

- Agusto, A.C., Mora, A.P., Pessôa, F., The release of light metals from a brown seaweed (*Sargassum* sp.) during zinc biosorption in a continuous system., [versión electrónica], *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol. 4, No. 3, 2001.
- Belmonte, F., Romero, A., Alonso, F., Moreno, J., Rojo, S., Afección de suelos agrícolas por metales pesados en áreas limítrofes a explotaciones mineras del sureste de España., *Papeles de Geografía*, No. 51-52, 2010, pp. 45-54.
- Davis, T.A., Volesky, B., Vieira, R.H.S.F. , *Sargassum* seaweed as biosorbent for heavy metals., *Water Res.*, Vol. 34, 2000, pp. 4270-4278.
- Davis, T.A., Volesky, B., Mucci, A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae., *Water Research*, Vol. 37, 2003, pp. 4311-4330.
- DEAL, Direction de l'Environnement, de l' Aménagement et du Logement. Republique Française) L' invasión des sargasses.. *Revue de presse <<Caraïbes>>*, 2015.
- Diniz, V., Volesky, B., Biosorption of La, Eu and Yb using *Sargassum* biomass., *Water Res.*, Vol. 39, 2005, pp. 239-247.
- El-Naggar, M.E.E., Al-Amoudi, O.A., Heavy Metal Levels in Several Species of Marine Algae from Red Sea of Saudi Arabia. *J.K.A.U. Sci*, Vol. 1, (1409 A.H./1989 A.D.) 1989, pp. 5-13.
- Galán, E., Romero, A., Contaminación de suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía Macla*, Vol. 10, 2008, pp. 48-60.
- Generalic, Eni. "Bibliografía." *EniG. Tabla periódica de los elementos. KTF- Split*, 23 Aug. 2015, Web. 29 Dec. 2015. <http://www.periodni.com/es/bibliography.html>
- Gower, J., Young, E., King, S., Satellite images suggest a new *Sargassum* source region in 2011., *Remoting Sensing Letters*, Vol. 4, No, 8, 2013, pp. 764-773.
- Johnson, D.R., Ko, D.S., Franks, J.S., Moreno, P., Sánchez-Rubio, G., The *Sargassum* Invasion of the Eastern Caribbean and Dynamics of the Equatorial North Atlantic., *Proc. of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, Santa Marta, Colombia, 2013, pp. 102-103.

- Lapointe, B.E., A comparison of nutrient-limited productivity in *Sargassum natans* from neritic vs. oceanic waters of the western North Atlantic Ocean., *Limnology and Oceanography*, Vol. 40, 1995, pp. 625-633.
- López-Mosquera, M.E., Fernández-Lema, E., Villares, R., Corral, R., Alonso, B., Blanco, C., Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agricultura., *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 9, 2011, pp. 113-117.
- Moreira, A., Alfonso, G., Inusual arribazón de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen en la costa centro-sur de Cuba., *Rev. Invest. Mar.*, Vol. 33, No. 2, 2013, pp. 17-20.
- Muñoz Bautista, A.N., Composición Taxonómica y abundancia de la macrofauna asociada A *Sargassum* (Phaeophyceae: Fucales) Flotante en el Sistema Arrecifal Veracruzano, Suroeste del Golfo de México., Tesis presentada en opción al grado científico de Maestra en Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, 2013.
- Oyesiku, O.O., Egunyomi, A., Identification and chemical studies of pelagic masses or *Sargassum natans* (Linnaeus) Gaillon and *S. fluitans* (Borgensen) Borgensen (brown algae), found offshore in Ondo State, Nigeria., *African Journal of Biotechnology*, Vol. 13, No.10, 2014, p.1189-1193.
- Sitte, P., Weiler, E.W., Kadereit, J.W., Bresinsky, A., Körner, C. Strasburguer Tratado de Botánica. 35.^a edición. Edit Omega, Barcelona, 2004, pp. 668-669.
- Széchy, M.T., Guedes, P.M., Baeta-Neves, M.J., Oliveira, E.N., Verification of *Sargassum* (Linnaeus) Gaillon (Heterokontophyta: Phaeophyceae) from Sargasso Sea off the coast of Brazil., western Atlantic Ocean, *Check List* Vol. No. 4, 2012, pp. 638-641.
- Volesky, B., Holan Z.R., Biosorption of heavy metals., *Biotechnol. Prog.* Vol. 11, 1995, pp.235-250.