

COMPOSICIÓN ELEMENTAL EN MACROALGAS MARINAS DEL ESTADO NUEVA ESPARTA, VENEZUELA

Luisa Rodríguez^{1a*}, Armando Ramírez^{2†}, María Solé^{1b},
Junior Palmiotto²

¹Estación de Investigaciones Marinas de Margarita. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Apdo. 144, Porlamar 6301. Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela. ^aDepartamento de Oceanografía; ^bDepartamento de Biología Marina. ²Laboratorio de Geoquímica Ambiental. Instituto de Ciencias de la Tierra. Universidad Central de Venezuela. Distrito Capital. Caracas 1010.
*luisamaroma@hotmail.com

RESUMEN

Se determinó la concentración de 18 elementos (Na, Ca, K, Mg, Al, Fe, P, Sr, V, Mo, Zn, Ni, Ba, Cr, Cu, Pb, Cd y Hg) en 15 especies de macroalgas marinas bentónicas pertenecientes a las Divisiones Chlorophyta, Rhodophyta y la Clase Phaeophyceae presentes en zonas de playas y lagunas del estado Nueva Esparta durante agosto del 2008. La técnica analítica utilizada fue la Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES). La determinación de Cd fue por Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) y Hg fue detectado con un analizador directo. Las concentraciones de los elementos químicos, especialmente de metales traza, se encuentran dentro de los intervalos establecidos en aguas prístinas, algunos registros de suplementos alimenticios de origen marino y demás regulaciones internacionales. Sin embargo, los niveles de algunos de los elementos traza Zn, Ni, Cr, Cu, Pb y Cd, podrían indicar que están biodisponibles en algunas de estas localidades y son absorbidos por las macroalgas. La distribución de especies por división presentó un marcado predominio de las algas verdes y aunque no fueron significativas las diferencias (prueba Kruskal-Wallis), estas macroalgas presentaron las concentraciones detectadas más altas de algunos elementos. En general las concentraciones promedio de Fe, V, Ni, Cu, Pb y Hg en las lagunas fueron más altas que en las playas, pero solo se encontraron diferencias significativamente entre la laguna de La Restinga y la playa El Bichar. Este trabajo sirve como referencia para investigaciones futuras sobre el valor nutricional de las macroalgas, su potencial uso como fuente de alimentos y como biomonitores en el estudio de ambientes impactados.

Palabras clave: macroalgas, composición elemental, metales traza, Nueva Esparta.

Element composition in marine macroalgae from Nueva Esparta, Venezuela

Abstract

Concentrations of 18 elements (Na, Ca, K, Mg, Al, Fe, P, Sr, V, Mo, Zn, Ni, Ba, Cr, Cu, Pb, Cd and Hg) were determined in 15 species of macroalgae (Divisions Chlorophyta, Rhodophyta, and Phaeophyceae Class), collected from beaches of Margarita, Coche and Cubagua's islands, Venezuela. In addition, we included two coastal lagoons (Las Marites and La Restinga lagoons). Analysis was made by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-OES) after a nitric acid digestion. Cd was analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS), and direct Hg with a mercury analyzer. Concentrations of the chemical elements, especially trace metals, are within the ranges set in pristine waters by different authors and some reports of marine-derived food supplements. However, the levels of some elements such as Ni, Cr, Cu, Pb and Cd may

Recibido: octubre 2013

Aceptado: julio 2014

indicate that these elements are bioavailable in some of these localities, and they are detected in marine organisms, especially in macroalgae. The species distribution division presented a marked predominance of green algae, although the differences were not significant (Kruskal-Wallis test), these macroalgae had the highest detected concentrations of some elements. In general, the average concentrations of Fe, V, Ni, Cu, Pb and Hg in the lagoon were higher than on the beaches, but differences between the Restinga lagoon and The Bichar beach found. This work represents a contribution to the knowledge of the chemical content of seaweeds as a basis for ecological studies on the status of populations and their potential use macroalgae as biomonitors of impacted environments.

Keywords: macroalgae, element composition, metals trace, Nueva Esparta.

INTRODUCCIÓN

La composición elemental de diversos tipos de macroalgas es de gran interés y ha sido reportados a nivel mundial (Sanchez-Rodríguez *y col.*, 2001; Żbikowski *y col.*, 2007; Manivannan *y col.*, 2008; Kumar *y col.*, 2009; Karthikai *y col.*, 2009). Así mismo, las concentraciones de los elementos en las macroalgas dependen de los parámetros ambientales de los lugares de muestreos (salinidad, temperatura, pH, luz, concentración de nutrientes, oxígeno, etc.) (Żbikowski *y col.*, 2007) y de las diferencias estructurales de las algas (Favero *y col.*, 1996 cit. Besada *y col.*, 2009).

Por otra parte, en la pared celular de la algas se han identificado más de 60 elementos traza, minerales, proteínas, yodo, bromuro, vitaminas y varias sustancias bioactivas de alto valor económico (Manivannan *y col.*, 2008). Por esta razón son consideradas un recurso potencial económico dado su empleo en la nutrición humana y animal, medicina y como suplementos alimenticios entre otras aplicaciones (FAO, 2002; Vidal *y col.*, 2006; Alvarado *y col.*, 2008). El consumo humano de algas verdes (5 %), algas pardas (66.5 %) y el de alga rojas (33 %) es alta en Asia, principalmente en Japón, China y Korea (Dawes, 1998 cit. Karthikai *y col.*, 2009).

Las macroalgas absorben selectivamente del agua de mar los elementos Na, K, Ca, Mg, Cl, I y Br, pero desafortunadamente también algunas macroalgas exhiben una alta afinidad por los metales pesados (Bryan y Hummerstone, 1973) con potencial efecto toxicológico para los humanos (Dawczynski *y col.*, 2007). Por tal razón, son usados como biomonitores de contaminación por metales en aguas estuarinas y costeras en todo el mundo y para evaluar la calidad de su entorno (Phillips, 1997; Chmielewska y Medved, 2001; Topcuoğlu *y col.*, 2001; Ospina y Peña, 2004; Villares *y col.*, 2005 cit. Besada *y col.*, 2009). La capacidad del alga para acumular metales depende de una variedad de factores; las dos más relevantes son la biodisponibilidad de los metales en el agua circundante y la capacidad de asimilación del alga (Sánchez-Rodríguez *y col.*, 2001).

En este sentido, se analizaron 18 elementos (Na, Ca, K, Mg, Al, Fe, P, Sr, V, Mo, Zn, Ni, Ba, Cr, Cu, Pb, Cd y Hg) debido a su importancia desde el punto de vista biológico y ecotoxicológico. La concentración de estos elementos fue comparada entre las distintas especies y entre las localidades estudiadas.

Debido a la importancia y riqueza de algas marinas presentes en nuestras costas, especialmente en las playas de la Isla de Margarita (Aponte, 1985; Solé y Pardo, 2006; Pardo y Solé, 2007; Miloslavich *y col.*, 2010; Solé y Pardo, 2011; Solé *y col.*, 2012), a la limitada información sobre su valor nutricional y sus características bioacumuladoras, se desarrolló esta investigación como una contribución al conocimiento sobre la composición química de las macroalgas marinas, como base para investigaciones futuras sobre el contenido de nutrientes de las algas como fuente de alimentos y su potencial uso como biomonitores en el estudio de ambientes impactados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. El estado Nueva Esparta está ubicado en la región nororiental de Venezuela (Figura 1) y está constituido por tres islas que conforman una prolongación del sistema montañoso del Caribe y que forma parte integral de la franja denominada Cordillera de la Costa. Las tres islas son: Margarita (934 Km²), Coche (56 Km²) y Cubagua (17 Km²) (Calderón, 2005). Nueva Esparta se caracteriza por poseer aguas altamente productivas debido a la ocurrencia del fenómeno de surgencia costera (Herrera y Febres, 1975; Castellanos *y col.*, 2002). En el sector sur del Mar Caribe la climatología está regulada por el ciclo anual de la migración meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (Müller-Karger y Varela 1989-1990 cit. Castellanos *y col.*, 2002).

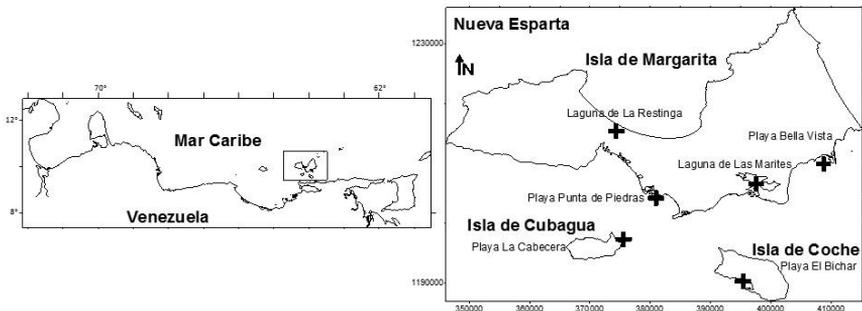


Figura 1. Localidades muestreadas (+) en la costa del Estado Nueva Esparta, Venezuela.

Captación de muestras. Durante agosto del 2008 se realizaron salidas de campo a las playas de Bella Vista y Punta de Piedras (Isla de Margarita), El Bichar (Isla de Coche) y La Cabecera (Isla de Cubagua) y a dos lagunas costeras, La Restinga y Las Marites (Isla de Margarita) (Figura 1). Estas localidades fueron seleccionadas ya que presentan diferentes grados de contaminación en sus aguas (Rodríguez y col., 2008; 2010). A lo largo y ancho de cada localidad fueron colectadas al azar muestras de las macroalgas marinas más comunes, y en todos los ambientes se midieron los parámetros físicoquímicos temperatura superficial y salinidad del agua. Las muestras de macroalgas marinas fueron recolectadas manualmente mediante buceo autónomo hasta una profundidad de 15 metros.

Las muestras fueron lavadas en campo con agua de mar para separar el material adherido (sedimento, pequeños organismos marinos, etc.), posteriormente fueron almacenadas en bolsas plásticas y refrigeradas en una cava con hielo hasta su traslado al laboratorio de Oceanografía Química de la Estación de Investigaciones Marinas de Margarita de Fundación La Salle (EDIMAR-FLASA). En el laboratorio fue preservada una fracción de las muestras de macroalgas en formalina al 4% para su posterior identificación, mientras que el resto de las muestras fueron congeladas a -20 °C hasta su análisis químico. En la Tabla 1 se muestra el nombre científico de las especies, número de replicas por especies y por localidad, y el número total de las mismas.

Tabla 1. Especies de macroalgas colectadas en cada localidad de Nueva Esparta. Entre paréntesis el número de replicas analizadas por especies.

División/Clase/Especie	Playas			Lagunas		
	Bella Vista	Punta de Piedras	El Bichar	Las Cabeceras	La Restinga	Las Marites
Chloropyta						
<i>Caulerpa sertularioides</i> (Gmelin) Howe	X (2)		X (1)	X (1)	X (7)	
<i>Caulerpa racemosa</i> (Forsskål) J. Agardh			X (1)		X (5)	
<i>Caulerpa mexicana</i> Sonder ex Kützting		X (1)				
<i>Codium decorticatum</i> (Woodward) Howe	X (2)		X (3)			
<i>Cladophora vagabunda</i> (L.) Hoek					X (6)	
<i>Ulva reticulata</i> Forsskål	X (1)		X (2)	X (1)	X (1)	X (1)
<i>Ulva fasciata</i> (Delile)		X (1)	X (1)	X (1)	X (3)	X (2)
Rhodophyta						
<i>Acanthophora spicifera</i> (Vahl) Børgesen	X (3)		X (1)			
<i>Gracilaria domingensis</i> (Kützting) Sonder ex Dickie	X (1)			X (1)		
<i>Hypnea valentiae</i> (Turner) Montagne		X (1)			X (2)	
<i>Gelidium crinale</i> (Turner) Gaillon			X (2)			
Phaeophyceae						
<i>Padina boergesenii</i> Allender & Kraft	X (2)					
<i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kützting) De Paula & De Clerck	X (4)		X (1)			
<i>Lobophora variegata</i> (Lamouroux) Womersley	X (1)					
<i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh	X (2)				X (2)	
TOTAL	9	3	8	4	7	3

Preparación de las muestras para el análisis químico. Para el análisis químico las muestras fueron descongeladas y lavadas nuevamente con agua de mar sintética (Astor, 1996). Luego fueron secadas en una estufa a una temperatura de 55°C hasta alcanzar peso constante. Para la determinación de los metales pesados las muestras fueron pulverizadas y homogeneizadas en un mortero de porcelana, agregando nitrógeno líquido para facilitar el proceso de molienda. Posteriormente se pesaron 10 g de muestra y se secaron en una estufa a 100°C por 2 horas, y se colocaron en una mufla a 550°C por 2 horas. Posteriormente se procedió hacer una extracción ácida de las cenizas con 50 ml de HCl 1M a temperatura ambiente. Por último se filtró y el extracto obtenido fue analizado con el equipo de Espectrometría de Emisión Óptica Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) en los laboratorios del Instituto de Ciencias de la Tierra (UCV). Esta técnica tiene una alta sensibilidad, amplio intervalo dinámico, relativa poca interferencias de la matriz y capacidad rápida del análisis multielemental.

En cada digestión fue incorporado un blanco y además fueron analizados estándares certificados y material de referencias para validar la calidad del análisis. Para las determinaciones de Hg se emplearon 0,2 g de muestra pulverizada, las cuales fueron introducidas en el equipo analizador de mercurio marca Milestone modelo DMA-80 sin tratamiento previo. Para cada elemento y grupo de algas estudiadas se calculó el promedio o media aritmética (\bar{X}) de las concentraciones químicas.

Análisis ficoflorísticos. Para la identificación de las macroalgas marinas colectadas se emplearon las claves y descripciones taxonómicas de la ficoflora del país, el Caribe y del Atlántico occidental (Taylor, 1960; Schnetter, 1972; Aponte, 1985; Littler y Littler, 2000; Solé y Pardo, 2006; Pardo y Solé, 2007; Dawes y Mathieson, 2008; Solé y Pardo, 2011). El catálogo ficoflorístico se presenta ordenado a nivel sistemático por los phyla Chlorophyta y Rhodophyta, y la Clase Phaeophyceae, según los criterios taxonómicos y nomenclaturales propuestos por Wynne (2011).

Análisis estadísticos. Con el fin de establecer correlaciones de los elementos entre las especies y entre las localidades se aplicó el estadístico Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) usando el programa Statistica 6.0 (StatSoft, 1998).

RESULTADOS

Las comunidades de macroalgas marinas más comunes y diversas en todas las localidades estudiadas estuvieron compuestas por especies de macroalgas verdes (Chlorophyta) destacando con un 47% en el espectro

florístico general y siendo las localidades más diversas Playa Bella Vista, Playa El Bichar y la Laguna de La Restinga, mientras que las menos diversas fueron Playa de Punta de Piedras y la Laguna de las Marites (Tabla 1). Cabe destacar que la relación de distribución porcentual y relación de grupos de algas Rhodophyta:Chlorophyta:Phaeophyceae (27:47:27) se mostró alterada con respecto a la típica de aguas tropicales para ambientes estables y con una baja presión antrópica para costas tropicales del Atlántico occidental y costas venezolanas (Díaz-Piferrer, 1970; Ríos, 1972; Lemus, 1974; 1979; Aponte, 1985).

Las concentraciones de los elementos detectados en las macroalgas colectadas en las playas y lagunas durante agosto del 2008 se presentan en la Figura 2 y en el Anexo 1. Las macroalgas pardas (Phaeophyceae) no fueron encontradas en suficiente cantidad para la determinación de los elementos en la playa de Punta de Piedras ni en la playa El Bichar.

Especies con concentraciones altas de los elementos. Las algas verdes, especialmente las especies del género *Ulva*, presentaron las concentraciones más altas detectadas de Na (Figura 2). Las especies *U. reticulata* y *U. fasciata* presentaron valores altos de Na y Mg en la mayoría de las localidades estudiadas, especialmente en la laguna de La Restinga. También en esta laguna, las especies *Caulerpa racemosa* presentó concentraciones altas de Na, V y Hg y la especie *Cladophora vagabunda* de Al, P, Mo, Fe, V, Zn, Cr, Cu, Pb y Hg. *Caulerpa sertularioides* resultó otra especie de alga verde con alto contenido de Na, Ca, Al, Fe, P, Mo, Ba, Cu, Cr y Pb, especialmente en la playa de Bella Vista y en la laguna de Las Marites. En la playa de Punta de Piedras, la especie *Caulerpa mexicana* presentó concentraciones altas de la mayoría de los elementos analizados, especialmente de Mo, Zn, Cr, Cu, Pb y Hg y *Codium decorticatum* mostró concentraciones altas de Sr, K, Cu y Cd en la playa de Bella Vista y El Bichar (ver Anexo 1).

Dentro de las algas rojas se destacaron las especies *Gelidium crinale* con concentraciones altas de Na, Mg, P, Sr y Ni en la playa de El Bichar; la especie *Acanthophora spicifera* con concentraciones altas de Ca, Sr, Zn y Cd, especialmente en la playa de Bella Vista. Es importante indicar que en la playa El Bichar el elemento Cd fue detectado en todas las algas rojas. Por su parte, las algas pardas generalmente presentaron las concentraciones más altas detectadas de Zn y Cd (Figura 2). El alga *Canistrocarpus cervicornis* presentó valores altos de Al, Fe, Sr, Mo, Ba y Cd en las playas de Punta de Piedras y La Cabecera. *Sargassum vulgare* mostró los valores más altos de V, Ba, Cr y Pb en la laguna de La Restinga. Es de hacer notar que el elemento Pb fue detectado en la mayoría de las macroalgas pardas colectadas en las lagunas y en la playa de Punta de Piedras (ver Anexo 1).

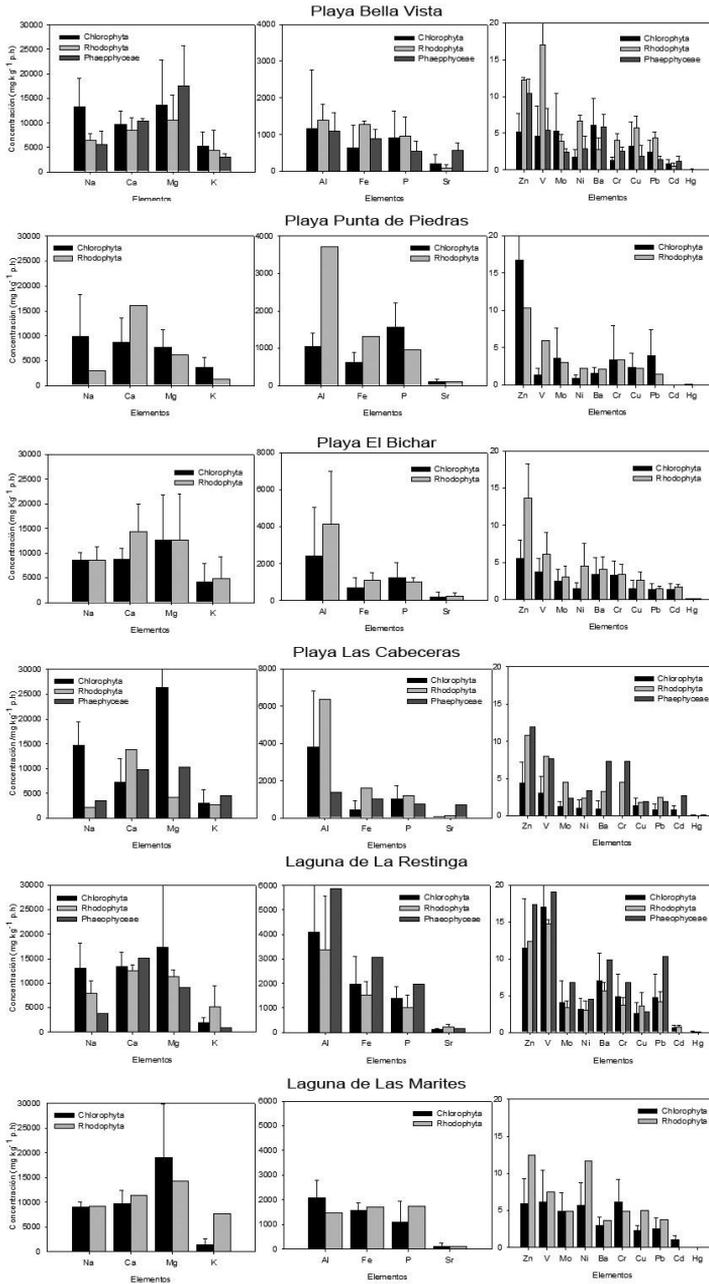


Figura 2. Concentración promedio de elementos \pm SD (mg kg⁻¹ peso húmedo) en macroalgas para cada localidad de muestreo.

Especies con concentraciones bajas de los elementos. En general, los resultados indicaron que las concentraciones más bajas de los elementos fueron detectados en las algas verdes, especialmente en las colectadas en la playa La Cabecera (ver Anexo 1). Dentro de las algas verdes del género *Ulva*, varias especies presentaron las concentraciones más bajas de los elementos, especialmente de elementos minoritarios (Al, Fe, P y Sr) y de elementos traza, como Ni, Cr, Cu, Pb y Cd. Las más comunes de todas las especies presentes tanto en las playas como en las lagunas fueron *U. fasciata* y *U. reticulata*; en los valores detallados en el Anexo 1 se puede observar que algunos elementos traza no fueron detectados en estas algas. La especie parda *C. cervicornis* también presentó las concentraciones más bajas de los elementos como Na, K, Fe, Mo, V y Ba en la playa de Punta de Piedras.

Comparaciones múltiples entre localidades por división.

Chlorophyta: Al comparar el contenido de elementos en las algas verdes entre las localidades estudiadas se encontraron diferencias significativas entre la laguna de La Restinga y la playa El Bichar en las concentraciones de los siguientes elementos: Fe ($p>0,01$), V ($p>0,05$), Ni ($p>0,01$), Cu ($p>0,01$), Pb ($p>0,05$) y Hg ($p>0,01$) (Figura 3). También se encontraron diferencias significativas entre laguna de La Restinga y playa Punta de Piedras para el elemento V ($p>0,023$). Las concentraciones promedio de estos elementos en las lagunas (especialmente La Restinga) fueron más altas que en las playas. **Rhodophyta:** No existieron diferencias significativas entre localidades. **Phaeophyceae:** La poca cantidad de datos dificultó el análisis estadístico.

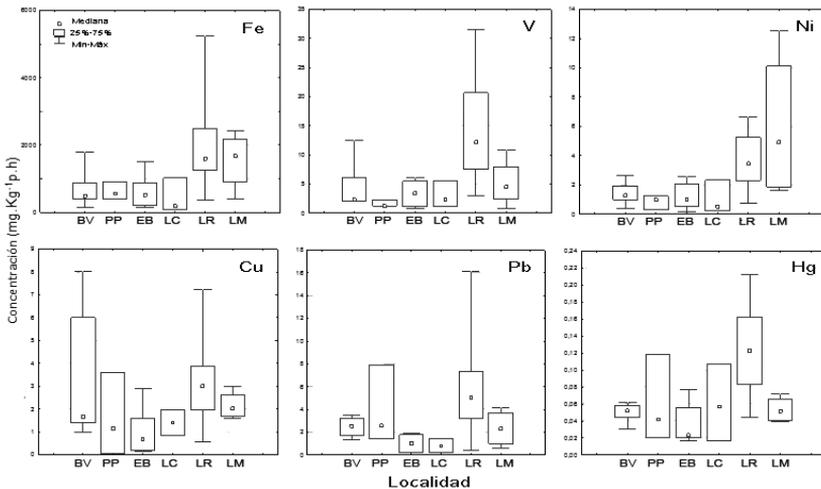


Figura 3. Diagrama de caja de comparaciones múltiples entre localidades: BV: Bella Vista; PP: Punta de Piedras; EB: El Bitar; LC: La Cabecera; LR: La Restinga; LM: Las Marites. (prueba Kruskal-Wallis, p valores).

Comparación múltiples entre división por localidad. Al comparar el contenido de elementos entre las divisiones por localidad, sólo se encontraron diferencias significativas en Bella Vista entre algas verdes y pardas para Na ($p>0,02$), entre algas verdes y rojas para Ni ($p>0,02$) y Cr ($p>0,03$); entre rojas y pardas para Cu ($p>0,05$). En La Restinga entre las algas verdes y rojas para K ($p>0,05$) y Hg ($p>0,05$) (Figura 4).

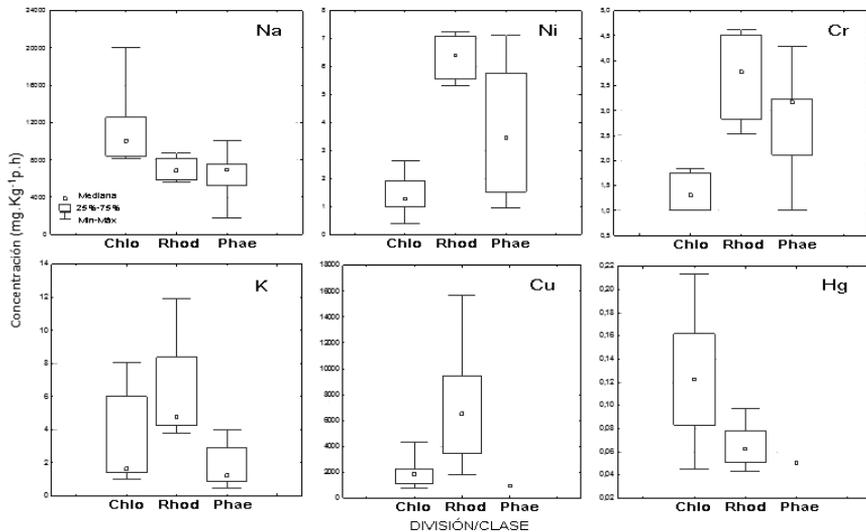


Figura 4. Diagrama de caja de comparaciones múltiples entre Divisiones y Clase: Chlo: Chlorophyta; Rhod: Rhodophyta; Phae: Phaeophyceae (prueba Kruskal-Wallis, p valores).

DISCUSIÓN

Concentración de elementos químicos. En el estado Nueva Esparta son muy pocos los estudios del contenido de elementos químicos en macroalgas, por lo que su comparación y discusión se realizó basados en los estudios a nivel mundial. No obstante, las comparaciones directas con otros trabajos pueden llegar hacer complejos y problemáticos, ya que existen diferencias asociados con el muestreo, épocas del año, los procedimientos de preservación y análisis (Netten *y col.*, 2000; Farias *y col.*, 2002; Żbikowski *y col.*, 2007; Besada *y col.*, 2009).

En esta investigación, las concentraciones de los elementos químicos (especialmente de metales traza), en las macroalgas colectadas durante agosto del 2008, se encuentran dentro de los intervalos establecidos en aguas prístinas por diferentes autores (Denton y Burdon-Jones, 1986) y

algunos registros de suplementos alimenticios de origen marino en diferentes partes del mundo (Kikuchi *y col.*, 2002; Dawczynski *y col.*, 2007; Leblond *y col.*, 2008; Kumar *y col.*, 2009), y demás regulaciones internacionales (FAO y FDA), indicando entre otras cosas, el bajo nivel de contaminación que aún presentan las playas y lagunas estudiadas. Sin embargo, es evidente que algunos elementos como Fe, V, Zn, Ni, Cr, Cu, Pb y Cd están biodisponibles en estas localidades, y se ven reflejados en las macroalgas que concentran metales (Bryan y Langston, 1992).

Esta capacidad que tiene el alga de asimilar algunos metales es dependiente de las características del metal, su biodisponibilidad y del ambiente que los rodea (Sánchez-Rodríguez *y col.*, 2001). Según este autor, el elemento Zn es asimilado rápidamente en la superficie del alga y es independiente de los factores que intervienen en los procesos metabólicos, tales como temperatura, luz, pH o la edad de la planta, pero está influenciado por la abundancia relativa del elemento en su entorno. Por su parte, los elementos Ni, Cr y Cu son asimilados lentamente y son dependientes de los procesos metabólicos y están sujetos a variaciones debido a los cambios de temperatura, luz o edad de la planta.

Es particularmente importante destacar el comportamiento del Cd. En la laguna de La Restinga este elemento fue medido en muy pocas especies, mientras que en las playas, especialmente las ubicadas en la isla de Coche y Cubagua, al parecer, este elemento está biodisponible pero pocas macroalgas pueden asimilarlo, especialmente las algas pardas. Se ha indicado anteriormente que tanto las lagunas como las playas de Bella Vista y Punta de Piedras se encuentran afectadas desde el punto de vista antrópico. No obstante, en el caso de las playas El Bichar en la isla de Coche como en la playa La Cabecera en la isla de Cubagua, el contenido de Cd encontrado en algunas macroalgas probablemente sea de origen natural (surgencia costera), ya que no se encontraron evidencias de fuentes antrópicas en ambos lugares (Rodríguez *y col.*, 2010). Altas concentraciones de Cd fueron detectadas en la especie *Posidonia oceanica* asociada con la surgencia de aguas profundas ricas en Cd (Roméo *y col.*, 1995).

Los estudios han indicado que las macroalgas pardas tienen la capacidad de asimilación y selectividad hacia el Cd (Davis *y col.*, 2003; Besada *y col.*, 2009) y es muy probable que en estas localidades compitan con otras especies por los nutrientes, y por eso sean más selectivas a este elemento. Los estudios recientes han considerado que el Cd puede actuar como un micronutriente cuando se encuentra en concentraciones trazas y existen limitación de algunos micronutrientes esenciales (Cullen *y col.*, 1999; Sunda y Huntsman, 2000). También este elemento es usualmente referido como un metal tóxico, pero recientes evidencias indican que puede sustituir nutricionalmente al Zn en algunas enzimas, tal como la anhidrasa carbónico (Sunda y Huntsman,

2000). Esta preferencia de asimilación que muestran algunas especies de macroalgas hacia elementos específicos, demuestra la habilidad natural de ciertas especies para envolver mecanismos adaptativos de descontaminación con la liberación extracelular de ciertos compuestos (Farias y col., 2002; Almela y col., 2005).

La distribución de especies por división presentó un marcado predominio de las algas verdes (Chlorophyta), seguidas de las algas rojas (Rhodophyta) resultados éstos atípicos que indican que los ambientes de las localidades estudiadas poseen condiciones alteradas respecto a aguas estables, debido a la fuerte presión antrópica en el entorno por descarga de aguas residuales domésticas. Aunque no fueron significativas las diferencias, estas macroalgas presentaron las concentraciones detectadas más altas de algunos elementos. Algunos estudios sobre los efectos de las aguas residuales industriales sobre las macroalgas, encontraron que las algas verdes, *Ulva fasciata* y *Chaetomorpha antennina* podían tolerar mayores concentraciones de los contaminantes que las algas pardas y rojas (Topcuoğlu y col., 2001). Las especies de macroalgas que mostraron mayor concentración de los elementos fueron *U. reticulata*, *U. fasciata*, *C. sertularioides*, *C. decorticatam*, *C. mexicana*, *G. crinale*, *A. spicifera* y *C. cervicornis*, todas ellas distribuidas en las playas; mientras que en las lagunas fueron *C. sertularioides*, *Cla. vagabunda*, *C. racemosa*, *U. reticulata*, *A. spicifera* y *S. vulgare*.

Las algas verdes también permitieron la comparación entre las localidades, y aunque sólo existieron diferencias significativas entre la laguna de La Restinga y la Playa El Bichar para los elementos Fe, V, Ni, Cu, Pb y Hg; y entre la laguna de La Restinga y playa Punta de Piedras para V, las concentraciones promedios de estos elementos en las lagunas (especialmente La Restinga) fueron más altas que en las playas. Por lo tanto, se infiere que las condiciones oceanográficas y ambientales presentes en la laguna de La Restinga, es una de las razones de las diferencias encontradas entre especies. Algunos autores señalan que las concentraciones de los elementos en las macroalgas dependen de los parámetros ambientales de los lugares de muestreos (salinidad, temperatura, pH, luz, concentración de nutrientes, oxígeno, etc.) (Żbikowski y col., 2007; Besada y col., 2009) y juegan un papel importante en el ciclo biogeoquímico de los elementos (Khristoforova y Bogdanova, 1980).

En las lagunas, existe un mayor intervalo de temperatura y salinidad, pues la zona de la boca generalmente tiene las mismas características oceanográficas de las aguas marinas adyacentes, pero en la zona central e internas, las características oceanográficas son más complejas y menos cambiantes. En esta zona el agua es más somera, con poca corriente y con alto contenido de partículas suspendidas de todo tipo,

que se hace mayor durante la época de lluvia. Los elementos pueden ser adsorbidos por el alga a través del contacto directo con los sedimentos o el material en suspensión, y esto ocurre sobre todo en el periodo de lluvia ya que es la vía más importante para el transporte y distribución de los elementos (Brown y Depledge, 1998; Haritonidis y Malea, 1999). Además, en la laguna de La Restinga las concentraciones de Al y Fe en las macroalgas fueron casi 3 veces más altas que en las playas. Esto probablemente este asociado a las características geológicas de la cuenca donde se localizan las lagunas, debido a los proceso de erosión y meteorización de las rocas (Power y Chapman, 1992).

Fariás *y col.* (2002) señalan que la alta concentración de Fe, Cr y Pb encontradas en macroalgas pueden ser atribuido a contaminación con material fino particulado, que probablemente no fueron removidos durante el proceso de lavado de las macroalgas después de la recolección. Así mismo, los estudios de calidad de agua han indicado que en algunas zonas de la parte interna de la laguna existe una alta degradación de las aguas, los sedimentos superficiales se encuentran ennegrecidos por la abundancia de materia orgánica, debido a la descarga de aguas residuales domésticas (Rodríguez *y col.*, 2008; 2010). Adicionalmente, la laguna de La Restinga es un lugar turístico muy visitado, con constante tráfico tanto marítimo como terrestre, además existe el vaciado de las cistinas (bodegas) de las embarcaciones que allí pernoctan. Por lo que se infiere que la presencia de algunos de los elementos tóxicos (como Pb) en el tejido de las macroalgas tenga su origen de estas fuentes antropogénicas (Stephenson y Leonard, 1994).

En cuanto a las playas, los estudios de calidad de agua y de sedimentos superficiales han demostrado que las playas de Bella Vista y Punta de Piedras, en la Isla de Margarita, se encuentran afectadas por una fuerte y constante influencia antrópica (Rodríguez *y col.*, 2008; 2010), lo cual pudiera explicar los altos niveles de algunos elementos, especialmente de metales pesados como V, Ni, Cu y Pb. La playa de Bella Vista fue donde se observó mayor cantidad de macroalgas con concentraciones promedios de los elementos más altas que en la playa de Punta de Piedras. Probablemente las condiciones oceanográficas que se presentan en las zonas pueden ser determinante en la distribución espacial y concentración de los elementos en las macroalgas, especialmente de metales pesados. En la playa de Punta de Piedras las corrientes son más fuertes y el agua tiene características distintas (más frías y salinas). La corriente que pasa al sur de la Isla de Margarita, es en general una rama de la corriente del Caribe que fluye en dirección oeste cerca del margen continental de Sur América. Además, en esta zona la geomorfología costera modifica el régimen general de corrientes que en superficie son generadas por el viento y en profundidad son compuestas, teniendo parte en su resultado tanto el viento como la corriente general

del sur de Margarita y las modificaciones que sufre por la fisionomía costera (Llano y col., 1989).

Biomonitores. La distribución de especies por división presentó un marcado predominio de las algas verdes (Chlorophytas). Las especies del género *Caulerpa* y *Ulva* fueron las más representativas y con mayor contenido de los elementos en sus tejidos. Las macroalgas verdes son consideradas las principales responsables de la productividad primaria de los ecosistemas cercanos a la costa (Żbikowski y col., 2007) y son muy útiles para monitorear contaminación con metales en ambientes acuáticos, especialmente el género *Cladophora* (Chmielewská y Medved, 2001; Żbikowski y col. 2007). Es posible que las altas concentraciones de metales en las especies *C. vagabunda* y *Caulerpa sertularioides* estén relacionadas con sus características morfológicas y la forma en que se adhieren al sustrato de las localidades estudiadas. Además, las especies de los géneros *Cladophora* y *Caulerpa* son oportunistas que responden a las variaciones ambientales y crecen rápidamente bajo condiciones favorables de alta carga de materia orgánica (Littler y Mark, 2000; Madruguer y Hunt, 1979). A diferencia de otras macroalgas, que se fijan al sedimento y asimilan nutrientes de la columna de agua (Collado-Vides, 2002) las especies del género *Caulerpa* tienen rizoides que se incrustan en el sedimento y asimilan nutrientes directamente de éste. Los rizoides de la *Caulerpa* no sólo son capaces de obtener nutrientes directamente del sedimento, sino también pueden formar asociaciones con bacterias que pueden ser capaces de fijar nitrógeno gaseoso (Collado-Vides y Ruesink, 2002).

CONCLUSIONES

Las concentraciones de los elementos en las macroalgas estudiadas se encuentran dentro de los intervalos establecidos en aguas prístinas, algunos registros de suplementos alimenticios y demás regulaciones internacionales. Sin embargo, el contenido de elementos traza Zn, Ni, Cr, Pb y Cd en algunas macroalgas y el despunte en la presencia de macroalgas verdes por encima de las algas rojas, podría estar indicando el aumento progresivo de los niveles de contaminación de las playas y lagunas donde habitan.

Por lo tanto, se hace necesario la continuación de este tipo de investigaciones sobre elementos traza en la biodiversidad marina de la región, ya que son zonas de elevada sensibilidad ecológica, con una importante heterogeneidad de macroalgas que pueden representar a futuro, una fuente potencial de nutrición alternativa.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa petrolera CHEVRON por el financiamiento de este proyecto a través de la Ley de Ciencia y Tecnología (LOCTI). Un agradecimiento especial a la Prof. Elizabeth Gordon del Laboratorio de Plantas Acuáticas del IZET-UCV, por la revisión y recomendaciones dadas al manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Almela, C., M. Clemente, D. Vélez, y R. Montoro. 2006. Total arsenic, inorganic arsenic, lead and cadmium contents in edible seaweed sold in Spain. *Food Chem. Toxicol.* 44:1901-1908.
- Alvarado, D., E. Buitrago, M. Solé y K. Frontado. 2008. Experimental evaluation of a composted seaweed extract as microalgae culture media. *Aquacult. Int.* 16(1):85-90.
- Aponte, M. 1985. Evaluación taxonómica de las algas de la costa noreste de la Isla de Margarita. Venezuela. Tesis de Maestría. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela. 381 pp.
- Astor, I. 1996. Manual de Análisis de Aguas para la Acuicultura y las Ciencias de Mar. Copilación. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Colección Cuadernos FLASA. Serie Ciencia y Tecnología 8, Caracas.
- Besada, V., J. Andrade, F. Shultze, J. González, 2009. Heavy metals in edible seaweeds commercialized for human consumption. *J. Mar. Syst.* 75:305-313.
- Brown, M. y M. Depledge. 1998. Determinants of trace metal concentrations in marine organisms. En: *Metal metabolism in aquatic environments* (Langston W, M. Bebianno, Ed). London: Chapman & Hall. Pp. 185-217.
- Bryan, G. y W. Langston. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review. *Environ. Pollut.* 76:89-13.
- Bryan, G. y L., Hummerstone, 1973. Brown seaweed is an indicator of heavy metals in estuaries in south-west England. *Journal of the Marine Biological Association* 53:705-720.
- Calderón, H., 2005. El mensaje de las rocas Cubagua. Naoma Ediciones. Caracas, Venezuela. 112 pp.
- Castellanos, P., R. Varela y F. Müller-Karger. 2002. Descripción de las áreas de surgencia al sur del Mar Caribe examinadas por el sensor infrarrojo AVHRR. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle* 154:55-76.
- Collado-Vides, L. 2002. Clonal architecture in macroalgae: ecological and evolutionary perspectives. *Evol. Ecol.* 15:531-545.
- Collado, L. y J. Ruesink. 2002. Morphological plasticity and invasive potential of some *Caulerpa* species. En: *International Caulerpa taxifolia Conference Proceedings*, January 31-February 1, 2002. San Diego, CA, U.S.A.
- Cullen, J., T. Lane, F. Morel y A. Sherrel. 1999. Modulation of Cd uptake in phytoplankton by seawater CO₂ concentration. *Nature* 402:165-166.
- Charzeddine, L. y M. Fariñas. 2001. Propiedades bioactivas de algas marinas del nororiente de Venezuela. *Boletín Inst Ocean Venez.* 40(1-2):49-54.
- Chmielewská, E., y J. Medved, 2001. Bioaccumulation of heavy metals by green algae *Cladophora glomerata* in a refinery sewage lagoon. *Croatica Chemica Acta* 74:135-154.

- Davis, T., B. Volesky. y A. Mucci. 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res* 37:4311-4330.
- Dawes, C.J. 1998. *Marine Botany*. John Wiley and Sons, Inc., New York. 480 pp.
- Dawczynskiet, C., U. Schäfer, M. Leiterer, y G. Jahreis. 2007. Nutritional and Toxicological Importance of Macro, Trace y Ultra-Trace Elements in Algae Food Products. *J. Agr. Food Chem.* 55:10470-10475.
- Dawes, C.J. y A.C. Mathieson. 2008. *The Seaweeds of Florida*. University Press of Florida. Florida. 592 pp.
- Denton, G. y C. Burdon-Jones. 1986. Trace metals in algae from the Great Barrier Reef. *Mar Poll Bull.* 17(3):98-107.
- Diaz-Piferrer, M. 1970. Adiciones a la flora marina de Venezuela. *Caribbean Journal of Science* 10(3-4):159-197.
- Favero, N., F. Cattalini, D. Bertaggia, V. Albergoni. 1996. Metal accumulation in a biological indicator (*Ulva rigida*) from lagoon of Venice (Italy). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 31:9-18.
- Fariás, S., S. Pérez, C. Vodopivec y P. Smichowski. 2002. Levels of essential and potentially toxic trace metals in Antarctic macro algae. *Spectrochim Acta Mol Part B* 57:2133-2140.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1983. Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery products. FAO Fisheries circular N° 764. 102 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1989. Food safety regulations applied to by the major importing countries. FAO Fisheries Circular No. 825 (Rome: FAO), 107 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2002. Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. Report N° 968 FIIU/C968 (Es).
- Food and Drugs Administration (FDA). 1997. HACCP Guidelines. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, FDA.
- Haritonidis, S. y P. Malea. 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. *Environ Pollut.* 104:365-72.
- Herrera, L. y G. Febres. 1975. Seasonal variations of the Eastern Venezuela upwelling septen. Third International Symposium on upwelling Ecosystems. Kiel. Fed. Rep. Germany. Aug. 1975.
- Karthikai, G., G. Thirumaran, K. Manivannam y P. Anantharaman. 2009. Element composition of certain seaweeds from Gulf of Mannar Marine Biosphere Reserve; Southeast Coast of India. *World Journal of Dairy & Food Sciences* 4(1):46-55.
- Kikuchi, Y., T. Nomiya, N. Kumagai, T. Uemura y K. Omae. 2002. Cadmium Concentration in Current Japanese Foods and Beverages. *J. Occup. Health* 44:240-247.
- Kumar, J., C. Oommen y R. Kumar. 2009. Biosorption of Heavy Metals from Aqueous Solution by Green Marine Macroalgae from Okha Port, Gulf of Kutch, India. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 6(3):317-323.
- Khristoforova, N. y N. Bogdanova. 1980. Mineral Composition of Seaweeds from Coral Islands of the Pacific Ocean as a Function of Environmental Conditions. *Marin Ecol-Prog Series* 3:25-29.
- Lemus, A. 1979. Las algas marinas del Golfo de Paria, Venezuela I. Chlorophyta y Phaeophyta. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 18:17-36.
- Lemus, A. 1984. Las algas marinas del Golfo de Paria, Venezuela II. Rhodophyta. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 23:55-112.
- Littler, D. y M. Littler. 2000. *Caribbean Reef Plants*. OffShore Graphics, Washington, D.C. [Onlinea] Available: <http://www.turtles.org>.

- Leblond, C., J. Mephara y S. Sauvé. 2008. Trace Metals (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn) in Food Supplements of Marine Origin. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 14:408-420.
- Manivannan, K., G. Karthikai, G. Thirumaran y P. Anantharaman, 2008. Mineral Composition of Marine Macroalge from Mandapan Coastal Regions; Southeast Coast of India. *American-Eurasian Journal of Botany* 1(2):58-67.
- Miloslavich, P., J. Díaz, E. Klein, J. Alvarado, C. Díaz, J. Gobin, E. Escobar-Briones, J. Cruz-Motta, E. Weil, J. Cortés, A. Bastidas, R. Robertson, F. Zapata, A. Martín, J. Castillo, A. Kazandjian y M. Ortiz. 2010. Marine Biodiversity in the Caribbean: Regional Estimates and Distribution Patterns. *PLoS ONE* 5(8):e11916.
- Muller-Karger, F. y R. Varela. 1989. Influjo del río Orinoco en el mar Caribe: observaciones con el CZCS desde el espacio. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle*, Tomos IL-L, Ns. 131-134:361-391.
- Netten, C., S. Cann, D. Morley, y J. Netten. 2000. Element and radioactive analysis of commercially available seaweed. *Sci. Tot. Environ.* 255:169-175.
- Ospina, N. y E. Peña. 2004. Alternativas de monitoreo de calidad de aguas: algas como bioindicadores. *Acta Nova* 2(4):513-517.
- Pardo, P. y M. Solé. 2007. Flora Marina de la Península de Macanao, Isla de Margarita, Venezuela. I Chlorophyta y Phaeophyceae. *Acta Bot Venez.* 30(2):327-355.
- Power, E.A. y P.M. Chapman, 1992. Assessing sediments quality. En: *Sediment toxicity assessment*. Burton G.A., Jr (Ed), Lewis Publishers. Chelsea, Michigan. Pp. 1-19.
- Phillips, D.J.H. 1997. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. A review. *Environ. Pollut.*, 13:281-317.
- Rodríguez, L., F. Palmiotto, R. Quiñones, F. Velásquez y J. Segura. 2010. Concentración de metales pesados en los ambientes marinos costeros del Estado Nueva Esparta. FLASA-EDIMAR. Informe Técnico. 330 pp., 260 figuras, 25 tablas.
- Rodríguez, L., J. Araujo, F. Velásquez, P. Guevara, F. Buitrago, J. Segura, J. Camara, N. Aranguren, R. Zapata y A. Herrera. 2008. Seguimiento de ecosistemas fuertemente afectados por factores humanos y factores climáticos: playas y lagunas costeras de la Isla de Margarita. FLASA-EDIMAR. Informe técnico. 228 pp, 160 figuras, 17 tablas, 2 anexos.
- Roméo, M., Gnassia-Barelli, M., Juhel, T., Meinesz, A. 1995. Memorization of heavy metals by scales of the seagrass *Posidonia oceanica*, collected in the NW Mediterranean. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 120, 211-218.
- Sánchez-Rodríguez, I., M. Huerta-Díaz, E. Choumiline, O. Holguin-Quiñones, J. Zertuche-Gonzalez. 2001. Elemental concentrations in diferentes species of seaweeds from Loreto Bay, Baja California Sur, Mexico: Implications for the geochemical control of metals in algae tissue. *Environmental Pollution* 114(2):145-160.
- Schnetter, R. 1972. Nuevas algas bénticas del litoral Caribe de Colombia. *Mutisia* 36:12-16.
- Solé, M. y P. Pardo. 2006. Contribución al conocimiento taxonómico de la ficoflora marina de la Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle* 165:5-32.
- Solé, M. y P. Pardo. 2011. Flora marina del sur de la Península de Macanao, Isla de Margarita, Venezuela. II. Rhodophyta. *Acta Bot Venez* 33(2):187-211.
- Solé, M., J. Capelo y J. Gutiérrez. 2012. Macroalgas marinas del norte de la Península de Macanao, Isla de Margarita, Venezuela. *Mem. Soc. Cien. Nat.*

- La Salle 173-174:7-24.
- Sunda, W. y S. Huntsman. 2000. Effect of Zn, Mn, and Fe on Cd accumulation in phytoplankton: implications for oceanic Cd cycling. *Limnol. Oceanogr.* 45:1501-1516.
- StatSoft, Inc. 1998. *Statistica for windows*. Tulsa, OK. USA.
- Stephenson, M. y G. Leonard. 1994. Evidence for the decline of silver and lead and the increase of copper from 1977 to 1990 in the coastal marine waters of California. *Mar Poll Bull* 28:148-153.
- Taylor, W. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan. 879 pp.
- Topcuoğlu, S., K. Güven, C. Kirbasoglu, N. Güngör, S. Onlü, Y. Yilmaz. 2001. Heavy metals in marine algae from Sile in the Black Sea, 1994-1997. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67:288-294.
- Vidal, A., A. Fallarero, E.R. Silva de Andrade-Wartha, A.M. de Oliveira e Silva, A. de Lima, R. Pavan Torres, P. Vuorela y J. Mancini-Filho. 2006. Composición química y actividad antioxidante del alga marina roja *Bryothamnion triquetum* (S.G. Gmelin) Howe. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* 42(4):589-600.
- Villares, R., E. Carral, X. Puente, A. Carballeira. 2005. Metal level in estuarine macrophytes: differences among species. *Estuaries* 28(6):948-956.
- Wynne, M.J. 2011. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical Western Atlantic: third revision. *Nova Hedwigia Beiheft* 140(1-6):7-166.
- Żbikowski, R., P. Szefer y A. Latała. 2007. Comparison of green algae *Cladophora* sp. and *Enteromorpha* sp. as potential biomonitors of chemical in the southern Baltic. *Sci. Tot. Environ.* 387:320-332.

Anexo 1. Composición elemental de las macroalgas colectadas en playas y lagunas de Nueva Esparta (mg kg⁻¹ peso húmedo). Valores resaltados en gris indican las concentraciones más altas detectadas (nd: no detectado).

Playa Bella Vista, Isla de Margarita																		
Especies	Na	Ca	Mg	K	Al	Fe	P	Sr	Zn	V	Mo	Ni	Ba	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg
Chlorophyta																		
<i>C.sertularioides</i>	10373	12344	7502	3720	2998	1334	1739	107	8	9	9.4	1.5	7.4	1.8	7.0	3.2	nd	0.038
<i>C.decorticatum</i>	9226	9808	9127	8539	413	436	643	484	3	2	1.0	1.9	4.7	1.2	1.5	1.7	0.8	0.055
<i>U.reticulata</i>	20000	7105	24245	3387	80	135	344	40	4	2	nd	nd	nd	1.0	1.0	nd	nd	0.062
Rhodophyta																		
<i>A.spicifera</i>	7475	10297	14238	7261	1702	1219	590	156	12	6	3.3	6.0	3.9	3.4	6.9	3.8	0.5	0.024
<i>G.domingensis</i>	5569	6625	6950	1563	1088	1336	1338	46	12	3	4.5	7.2	1.7	4.6	4.7	4.9	nd	0.085
Phaeophyceae																		
<i>P.boergensenii</i>	7874	11083	15483	2581	747	782	558	739	13	2	3.0	3.5	7.1	3.2	4.0	1.7	1.1	0.024
<i>C.cervicornis</i>	6839	9831	29378	3127	1145	1166	917	276	8	5	2.5	4.9	3.6	2.8	1.9	1.7	0.6	0.086
<i>L.variegata</i>	1793	10305	14935	3847	1794	1025	399	659	10	9	2.2	1.7	7.4	2.1	0.8	1.4	1.7	0.039
<i>S.vulgare</i>	6125	10142	10287	2390	676	579	276	613	10	6	1.9	1.3	5.2	2.1	0.8	0.6	nd	0.028
Playa Punta de Piedras, Isla de Margarita																		
Especies	Na	Ca	Mg	K	Al	Fe	P	Sr	Zn	V	Mo	Ni	Ba	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg
Chlorophyta																		
<i>C. sertularioides</i>	17097	3089	3840	2669	844	398	896	30	6	1	1.3	0.3	1.1	0.5	nd	1.4	nd	0.020
<i>C.mexicana</i>	12031	11500	10804	2217	1462	910	1624	159	64	2	8.3	1.2	2.4	8.6	3.6	7.9	nd	0.119
<i>U.fasciata</i>	691	11438	8197	5993	817	557	2173	141	10	1	1.3	1.0	1.1	1.0	1.2	2.6	nd	0.042
Rhodophyta																		
<i>H.valentiae</i>	2948	16135	6109	1313	3709	1306	962	110	10	6	3.0	2.3	2.1	3.4	2.3	1.5	nd	0.031

Playa El Bichar, Isla de Coche																		
Especie	Na	Ca	Mg	K	Al	Fe	P	Sr	Zn	V	Mo	Ni	Ba	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg
Chlorophyta																		
<i>C.sertularioides</i>	9832	8366	4698	4830	5514	918	2135	63	3	6	3.0	1.9	3.1	3.1	1.7	1.7	nd	0.023
<i>C.racemosa</i>	9958	12117	4741	951	5051	1519	2089	167	3	5	4.1	2.6	3.5	4.3	2.9	1.9	1.4	0.023
<i>C.decoriticatum</i>	6289	7162	9009	10175	835	394	735	55	6	2	1.3	0.7	1.1	nd	0.5	0.7	1.9	0.048
<i>U.reticulata</i>	8524	9485	22777	3835	555	528	591	682	9	4	1.3	1.3	5.8	2.4	0.8	1.0	nd	0.043
<i>U.fasciata</i>	8419	6698	22078	861	235	195	594	34	7	2	nd	0.5	nd	nd	nd	nd	0.5	0.017
Rhodophyta																		
<i>A.spicifera</i>	6180	20532	10506	3775	7130	1311	808	154	19	9	4.6	4.9	4.7	4.6	3.9	1.5	2.0	0.019
<i>H.valentiae</i>	7651	9518	4381	1247	3776	668	967	75	13	4	1.9	1.2	2.2	2.0	1.6	1.1	1.4	0.038
<i>G.crinale</i>	11681	12832	22929	9647	1497	1362	1248	468	9	5	2.5	7.3	5.4	3.5	2.1	1.7	1.5	0.069

Playa La Cabecera, Isla de Cubagua																		
Especie	Na	Ca	Mg	K	Al	Fe	P	Sr	Zn	V	Mo	Ni	Ba	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg
Chlorophyta																		
<i>C.sertularioides</i>	14684	4875	11126	2704	5880	189	1734	50	8	1	nd	0.5	0.4	nd	0.8	0.2	nd	0.107
<i>U.reticulata</i>	10003	4123	22877	714	-	77	264	34	3	2	nd	0.2	0.2	nd	nd	nd	nd	0.057
<i>U.fasciata</i>	19336	12717	45131	5847	1746	1017	1026	99	3	6	1.2	2.3	2.2	nd	2.0	1.4	0.8	0.017
Rhodophyta																		
<i>G.domingensis</i>	2235	13791	4289	2698	6375	1585	1186	101	11	8	4.6	2.4	3.3	4.6	1.8	2.5	nd	0.011
Phaeophyceae																		
<i>C.cervicornis</i>	3488	9786	10376	4582	1386	1041	759	713	12	8	2.4	3.4	7.3	7.3	2.0	1.9	2.7	0.068

Laguna de La Restinga, Isla de Margarita																		
Especie	Na	Ca	Mg	K	Al	Fe	P	Sr	Zn	V	Mo	Ni	Ba	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg
Chlorophyta																		
<i>C.sertularioides</i>	11262	12415	8080	1883	4216	1663	1635	114	13	13	4.3	3.8	6.6	4.2	2.9	4.9	nd	0.146
<i>C.racemosa</i>	12366	14086	5609	1626	4535	2168	1431	141	13	16	4.6	3.3	7.1	4.7	3.1	6.7	0.6	0.143
<i>C.vagabunda</i>	6989	16831	9247	1405	8287	3737	2029	134	16	36	8.5	5.2	11.6	8.3	4.5	8.9	nd	0.123
<i>U.fasciata</i>	13722	8709	27556	3620	904	714	763	52	4	6	0.8	1.3	1.3	nd	1.3	1.0	nd	0.051
<i>U.reticulata</i>	20985	14546	35947	1103	2588	1595	1014	112	nd	14	2.0	2.3	8.5	2.3	0.8	2.3	nd	0.083
Rhodophyta																		
<i>A.spicifera</i>	9671	13326	12265	8196	4923	1906	1386	160	12	14	4.0	3.9	6.4	4.4	4.9	5.1	0.7	0.061
<i>H.valentiae</i>	6023	11817	10253	2013	1855	1138	648	310	12	15	2.8	2.2	4.9	2.9	2.2	3.2	0.9	0.088
Phaeophyceae																		
<i>S.vulgare</i>	3809	15122	9086	941	5852	3075	1959	173	17	31	6.7	4.5	9.9	6.7	2.8	10.3	nd	nd

Laguna de Las Marites, Isla de Margarita																		
Especie	Na	Ca	Mg	K	Al	Fe	P	Sr	Zn	Mo	V	Ni	Ba	Cr	Cu	Pb	Cd	Hg
Chlorophyta																		
<i>C.sertularioides</i>	8063	12221	7056	590	2508	1928	2055	252	3	7.6	5.1	7.7	4.2	7.3	3.0	4.2	nd	0.043
<i>U.reticulata</i>	9007	10142	28558	2746	2467	1415	702	77	10	2.7	10.9	2.1	2.5	2.7	1.8	1.3	1.0	0.072
<i>U.fasciata</i>	10053	6965	21251	778	1228	1412	582	50	5	4.3	2.4	7.1	2.1	8.4	1.9	1.9	nd	0.050
Rhodophyta																		
<i>A.spicifera</i>	9257	11339	14264	7619	1480	1717	1734	111	13	4.8	7.5	11.7	3.6	4.9	5.0	3.8	nd	0.029