

VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA BIOCONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN MACROALGAS DE LA BAHÍA DE CIENFÜEGOS, CUBA.

María Elena Castellanos González *, Lázara Sosa Pérez, Angel Moreira González y Angel Raúl León Pérez.

Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos. Km 1½, Carr. Castillo de Jagua, Apdo Postal 5, CP 59350, C. Nuclear Cienfuegos, Cuba.

(*) Autor correspondiente: Email: elena@ciget.cienfuegos.cu

RESUMEN

La contaminación por Arsénico (As) de la bahía de Cienfuegos fue estudiada con el uso de las macroalgas, porque ellas brindan la posibilidad de almacenar y suministrar información sobre la bioconcentración de metales pesados. El objetivo de este trabajo fue analizar la variación espacial y temporal de la bioconcentración de este metal en tres especies de macroalgas de 6 áreas de la bahía en el periodo de un año, teniendo en cuenta las condiciones ambientales. Las muestras recibieron un pretratamiento de limpieza y secado a 40 ° C. El metal fue determinado según la combinación de métodos que establece el Standard Método (3^{era} Edición) y la Norma Empresarial de la Industria Básica (EIB) 1014.272:89. Los mayores valores de As corresponden al periodo lluvioso, destacándose *Gracilaria caudata* J. Agardh al registrar valores máximos en los meses de Septiembre y Octubre (3.740 y 6.574 mg de As/Kg de alga seca respectivamente). Indicadores químico-físicos como pH y temperatura no mostraron influencia sobre los valores promedio de As en *Gracilaria caudata* y *Ulva flexuosa* subsp. *flexuosa* Wulfen, sin embargo, la salinidad y conductividad si parecen tener influencia en este proceso de incorporación del tóxico. Desde el punto de vista espacial se encontraron tres áreas con los mayores valores de As, cuyo elemento común está asociado a acciones físicas de remoción del metal. Se consideró que *Gracilaria pauciramosa* N. Rodri. Ríos junto con *U. flexuosa* subsp. *flexuosa* pueden jugar un buen papel como biomonitoras de este metal, mientras que *G. caudata* lo es sólo como bioindicadora.

Palabras clave: arsénico; bioconcentración; macroalgas; bahías, ASW, Cuba.

ABSTRACT

The contamination with Arsenic (As) in Cienfuegos bay was studied using the macroalgae, because they have the ability to record and bring information on bioconcentrations of heavy metals. The objective of this paper was to analyze the spatial and seasonal variation of bioconcentration of this metal in three species of macroalgae located in 6 areas of the bay during the period of a year, taking into consideration environmental conditions. Samples were pretreated with cleaning and drying at 40° C. The metal was determined according to the combination of methods established by the Standard Method (3rd Edition) and the Enterprise Norm of the Ministry of Basic Industry (EIB) 1014.272:89. The highest values of As were reported in the rainy period, being the most significant *Gracilaria caudata* J. Agardh, which registered the maximum values in September and October (3.740 and 6.574 mg of As/Kg dry algae respectively). Chemo-physical indicators, such as pH and temperature, did not show influence on the average values of As in *Gracilaria caudata* and *Ulva flexuosa* subsp. *flexuosa* Wulfen; however, salinity and conductivity did seem to have an influence on the incorporation of this toxic. From the spatial point of view, there were found three areas showing the highest values of As concentration, with a common element associated to physical actions of the metal removal. It was considered that *Gracilaria pauciramosa* N. Rodri. Ríos, together with *U. flexuosa* subsp. *flexuosa*, can play a good role as biomonitors of this metal, while *G. caudata* can serve only as bioindicator.

Key words: arsenic; bioconcentration; seaweeds; bays; ASW, Cuba.

La contaminación de aguas costeras y marinas por elementos trazas o metales pesados ha venido cobrando creciente interés en los últimos tiempos, pues concentraciones por encima de los estándares establecidos para estos elementos han provocado impactos muy negativos sobre la salud humana y salud del ecosistema natural. De ahí, la importancia de mantener un monitoreo permanente sobre estos contaminantes y para ello el uso de

algunos organismos marinos pudiera ser una excelente propuesta por los servicios ecológicos que ellos brindan como bioindicadores de la contaminación.

Las macrofitas son frecuentemente empleadas en varios programas de monitoreos como organismos de prueba y bioindicadoras de sustancias tóxicas (Kautsky *et al.*, 1995, Kureishy *et al.*, 1995). Entre

ellas, las macroalgas bioconcentran elevadas cantidades de metales en sus tejidos (Sharp *et al.*, 1988; Díaz *et al.*, 1989) y pueden mantener un seguimiento de las tendencias espaciales e integrar los cambios temporales de las concentraciones que ocurren en su entorno (Lobban *et al.*, 1985), de tal modo que suministran un registro de su eventual bioconcentración a mediano y largo plazo, eliminándose de esta forma los muestreos frecuentes como ocurre cuando estos elementos se analizan en agua (Kureishy, 1991; Encina *et al.*, 1995). A estas ventajas pueden adicionarse que, las macroalgas son resistentes a concentraciones muy elevadas de metales pesados, para el caso específico del arsénico, por ejemplo, a pesar de su toxicidad, son capaces de resistir hasta 100 mg/L del contaminante, llegando a concentrarlo 100 veces más que lo que pueda existir a su alrededor en un momento dado. (Yamaoka y Takimura, 1986).

La bahía de Cienfuegos, Cuba, está contaminada por arsénico como consecuencia de la actividad industrial, fundamentalmente. El seguimiento de este tóxico puede ser llevado a cabo a través de la bioindicación con macroalgas por ser este recurso bentónico uno de los más abundantes del ecosistema, cuya distribución está localizada en 15 bancos naturales (León *et al.*, 2002; Moreira *et al.*, 2003), donde la mayoría de ellos tienen un vínculo directo con el área impactada por este contaminante.

Recientemente se han realizado estudios sobre la bioconcentración promedio de las especies de macroalgas que más biomasa aportan en algunos de estos bancos naturales (Castellanos *et al.*, 2005), lo cual constituye un primer paso para esta propuesta, pero se requiere completar con otras informaciones, pues muchos autores han mostrado que existe una influencia de las estaciones climáticas y de las condiciones ambientales en general sobre la composición química de las algas bentónicas (Bird, 1984; Devi Prasad, 1986).

El proceso de incorporación de metales pesados en macroalgas debe estar acompañado de un seguimiento de variables tales como salinidad, temperatura, pH, oxígeno, fosfatos, entre otras para poder entender las variaciones espaciales y temporales que presenta la bioconcentración de metales pesados en estos organismos (Drude de Lacerda *et al.*, 1985). Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar la variación espacial y temporal de la bioconcentración de arsénico en las especies de macroalgas más promisorias de este ecosistema

para disponer de una mayor información a la hora de fundamentar una propuesta para este fin.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la bahía de Cienfuegos, ubicada al centro-Sur de Cuba (Fig. 1). Este ecosistema es una bahía de bolsa que se extiende sobre un área de 88.46 km²; posee 100 km. de costa y un volumen total de 1.84 km³. Presenta características estuarinas debido a la confluencia de 4 ríos (Alonso *et al.*, 2006) que favorecen el crecimiento de macroalgas.

Para la ubicación de las estaciones de muestreo, se tomó como criterio que además de existir bancos naturales de macroalgas, ese lugar debía ser zonas de baño frecuente de las comunidades aledañas y población en general. Se tomó como punto de referencia, el área de la Empresa de Fertilizantes, sitio de vertimiento del residual.

Las especies seleccionadas para este estudio proceden del muestreo llevado a cabo en el periodo de Noviembre 2002 - Octubre 2003, para evaluar el potencial biológico de las macroalgas del ecosistema bahía de Cienfuegos como bioindicadoras de As. Llevado a cabo por Castellanos *et al.*, 2005. Entre ellas, fueron seleccionadas del Phylum Chlorophyta (Algas Verdes) a *Ulva flexuosa* subsp. *flexuosa* Wulfen, y del Phylum Rhodophyta (Algas Rojas) a *Gracilaria caudata* J.Agardh y *Gracilaria pauciramosa* N. Rodri. Ríos pues indicaban valores variables de As, y además había presencia de ellas en todos o casi todos los meses de muestreo. Las condiciones de muestreo y procesamiento, así como la descripción de la determinación de la concentración de As por la combinación de métodos según el Standard Methods. 3^{era} Edición, 1995 y NEIB 1014.272:89 fueron descritas por Castellanos y col., 2005. Con el fin de determinar la dependencia que existe entre las características químico-físicas del agua de mar y la bioconcentración de As en las algas muestreadas, se determinaron los siguientes parámetros: Temperatura (°C), pH (Norma ISO 10523), Salinidad (ups) (Norma ISO 9297), Conductividad a 25°C (mS/cm) (Norma Española EN 27888).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis temporal

El género *Gracilaria* Grev. presenta dos especies que brindan los mayores valores de concentración de As. No obstante, se observó que entre las tres

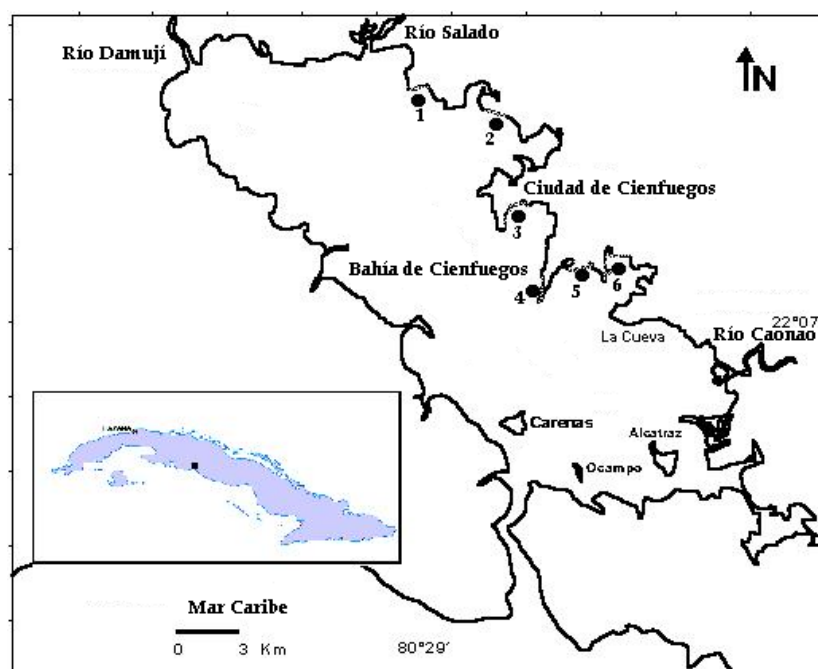


Fig. 1. Ubicación de las estaciones de colecta en la bahía de Cienfuegos. Leyenda: 1. Punto de vertimiento de As en la Empresa de Fertilizantes Nitrogenados, 2. Playa de O'Bourke, 3. Playa de Reina, 4. Playa La Punta, 5. Playa Laguna del Cura, 6. Playa de Junco Sur

especies seleccionadas, *Gracilaria caudata* fue la que registró los mayores valores promedios de As por bioconcentrar 3.740 y 6.574 mg de As/Kg de alga seca, en los meses de Septiembre y Octubre respectivamente (Tabla 1). Estos valores destacan el periodo lluvioso en cuanto al proceso de bioconcentración, y evidencian la disponibilidad del As en la columna de agua para su incorporación al alga. Según Drude de Lacerda (1985) esta es la única vía de intercambio con el alga, pues el ión se adhiere a la pared celular y luego por un proceso metabólico, típico de cada especie, es bioconcentrado.

El As presente en el mar suele estar asociado al hierro y otros iones metálicos tanto de forma orgánica como inorgánica, precipitados en el sedimento en su mayor parte, debido a su baja solubilidad, pero en el periodo lluvioso, fundamentalmente a finales de este, que para Cuba es septiembre-octubre, se incrementa su incorporación a la columna de agua por procesos de remoción que son generados por cambios de energía en el sistema, los cuales están dados por la entrada de flujos de agua fresca y por la dinámica de recambio de las aguas en la bahía, que en este

Tabla 1. Variación temporal de As_{Total} bioconcentrado por especies de macroalgas (mg/kg muestra seca) en la bahía de Cienfuegos.

Phylum	Especies	Nov-02	Dic-02	Mar-03	Jun-03	Sep-03	Oct-03
Chlorophyta							
	<i>Ulva flexuosa</i> subsp. <i>flexuosa</i>	0.456	0.228	0.316	0.385	0.193	1.412
Rhodophyta							
	<i>Gracilaria caudata</i>	-	0.852	0.889	1.745	3.740	6.574
	<i>Gracilaria pauciramosa</i>	-	0.348	0.377	0.719	0.357	2.541

periodo se logra en sólo 7 días (Muñoz y Díaz, 2008), y también por la influencia del viento, actividad ciclónica, entre otros. Estos resultados confirman que el As inorgánico está presente en el sedimento y que cualquier acción física notable sobre este, devuelve el contaminante al medio acuoso para su incorporación.

Otra posible causa de este comportamiento en el periodo lluvioso, es porque existe en general una menor concentración de iones en el agua por la presencia de agua fresca (Seisdedo y Muñoz, 2005; Seisdedo y Moreira, 2007) de modo que hay una menor competencia entre ellos y se favorecen los mecanismos de absorción del As por el alga (Sanders, 1979; Drude de Lacerda, 1985), lo que indica que las condiciones ambientales juegan un papel preponderante. También es de resaltar que en este periodo lluvioso la concentración de P-PO₄ (fósforo de ortofosfato) es mayor y esto también favorece la incorporación de As al alga, pues esta ión se asocia al P-PO₄, el cual es fácilmente absorbido por ser un nutriente.

Teniendo en cuenta la influencia de las condicionantes ambientales, se seleccionaron a *Ulva flexuosa* subsp. *flexuosa* y particularmente a *G. caudata* por reportar los mayores valores de As, para evaluar la variabilidad de las concentraciones de As en estas especies, según el comportamiento de los parámetros químico-físicos en el momento de la colecta. Según la Fig. 2, el pH no tuvo influencia en este proceso de incorporación del tóxico por su propia estabilidad en el ecosistema de estudio (Seisdedo y Muñoz, 2006). Similarmente, la temperatura no tuvo una marcada variación como ocurre en otros ecosistemas marinos tropicales, por ello no se aprecia su influencia en la variable de bioconcentración. Sin embargo, la salinidad y conductividad del agua sí muestran una correspondencia negativa, pues sus tendencias a disminuir desde el mes de marzo (penúltimo mes de la época de seca) hasta el mes de septiembre, debieron haber contribuido a la asimilación del As por parte de las algas para que este se concentrara y se expresara con valores máximos en el mes de Octubre.

Análisis espacial.

Sobre el comportamiento de las concentraciones de As en macroalgas por estaciones de muestreo (Tabla 2), se observó que el área de Reina resulta la estación de mayor contaminación, siguiéndole Junco Sur y O'Bourke respectivamente. La

estación de referencia "Fertilizantes" debió ser la más contaminada por su cercanía al punto de vertimiento del tóxico; sin embargo, esta realidad no se refleja en la tabla por la escasa diversidad de algas marinas en esa área, siendo el único valor de esa estación aportado por *Ulva flexuosa* subsp. *flexuosa*, especie resistente al impacto del vertimiento.

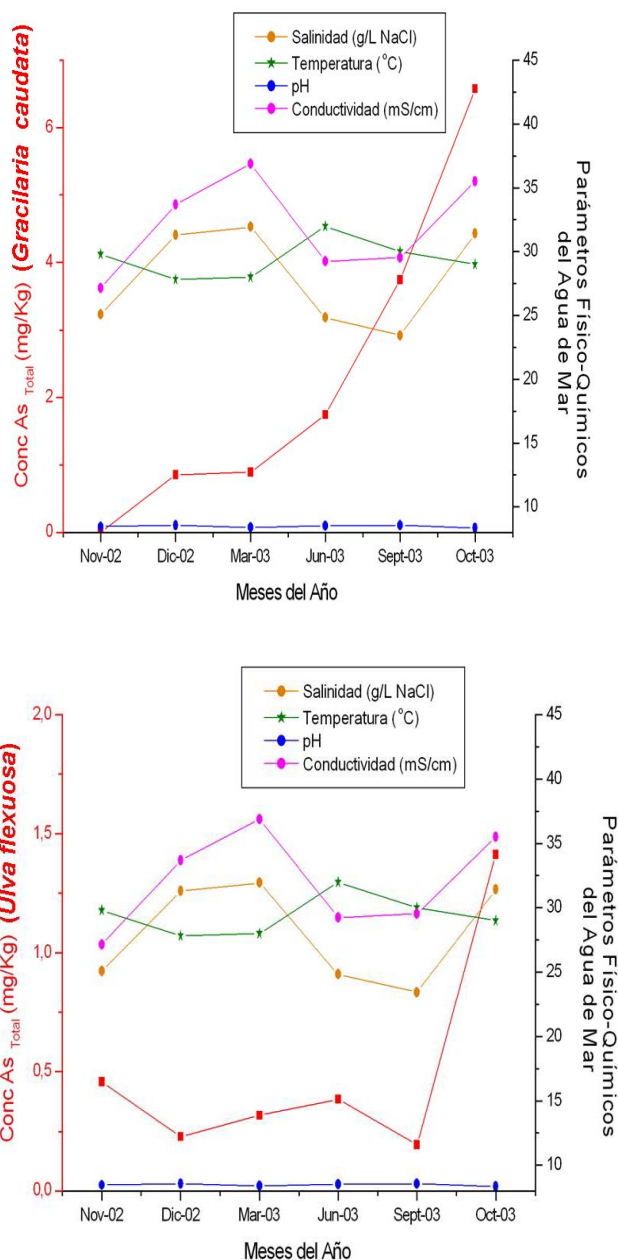


Fig. 2. Variaciones de la concentración de As en las especies *Gracilaria caudata* y *Ulva flexuosa* subsp. *flexuosa* con respecto a las características físico – químicas del agua de mar.

Tabla 2. Valores promedio de As_{Total} bioconcentrado por especie (mg/kg muestra seca) en cada estaciones de muestreo

Phylum	Especies	Fertiliz.	O'Bourke	Reina	La Punta	Laguna del Cura	Junco Sur
Chlorophyta							
	<i>Ulva flexuosa</i> subsp. <i>flexuosa</i>	1,028	0,190	0,224	0,244	0,337	0,303
Rhodophyta							
	<i>Gracilaria caudata</i>	-	2,083	4,323	-	-	1,447
	<i>Gracilaria pauciramosa</i>	-	0,371	2,833	0,630	0,589	0,573

El hecho de que la estación Reina tenga una mayor concentración de iones de As en el agua, que la estación O'Bourke, a pesar de la cercanía de esta última al lugar de vertimiento, puede estar dado por la constante remoción de este metal desde el sedimento, como consecuencia de la sistemática actividad portuaria que en esta área se realiza. Particularmente, en esta estación *Gracilaria caudata* y *Gracilaria pauciramosa*, reportaron concentraciones nunca antes halladas durante el estudio, lo que evidencia las potencialidades de estas especies a concentrar el As disponible.

El comportamiento del proceso de bioconcentración en la estación O' Bourke era de esperar, no sólo por su cercanía al punto de vertimiento, sino porque existe actividad portuaria y también de arrastres que se realizan en la zona por la pesca furtiva sobre el banco natural, así como en las cercanías de este.

De manera contraria, sí es muy sorprendente que en la estación de Junco Sur, sea bien detectable la concentración de As e incluso con valores superiores a los de O' Bourke. La presencia de As en el alga evidencia que este contaminante fue removido desde los sedimentos del área e incorporado a la columna de agua, pues el precipita con mucha facilidad en el mar. Las posibles razones que justifican este comportamiento es que el As luego del vertimiento haya sido transportado por el patrón de circulación de la bahía (Muñoz y Díaz, 2008) hasta esta zona. La misma es bien lejana del punto de vertimiento y según el informe de Control de Fuentes Contaminantes de la provincia de Cienfuegos, no se reporta ningún foco de As en el área de Junco Sur. Una vez allí, este elemento es incorporado a la columna de agua por las diferentes causas

antrópicas y naturales que generan su remoción (Caraballo, 2006).

En cuanto a la distribución espacial de las especies estudiadas, *G. pauciramosa* muestra una mayor presencia en toda el área de estudio al ser comparada con *G. caudata* dentro del género *Gracilaria*. Se destaca la adaptabilidad de *U. flexuosa* subsp. *flexuosa* a la variabilidad ecológica del ecosistema por estar presente en todas las estaciones de colecta. El dendograma por estaciones de muestreo (Fig. 3), también coincide con el análisis antes realizado.

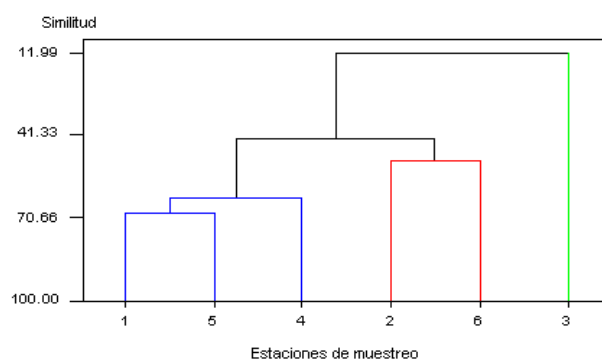


Fig. 3. Dendrograma por estaciones de muestreo

Resalta en un primer nivel de bioconcentración la estación de Reina, la cual está influenciada por las aportaciones en valores de As que hace *G. caudata* fundamentalmente en el último mes del periodo lluvioso (Octubre). Luego en un segundo nivel aparecen las estaciones de O'Bourke y Junco Sur, con valores de bioconcentración de As aún altos y superiores a los de los agrupamientos que les sigue, y que están representados por La Punta y

en el y posteriormente por las estaciones de Fertilizantes y la Laguna del Cura.

CONCLUSIONES

▪ Las tres especies estudiadas reflejan una variación espacial y temporal en las concentraciones de As, lo que les permite ser potencialmente excelentes bioindicadoras de este metal en el ecosistema bahía de Cienfuegos.

▪ *Ulva flexuosa* subsp. *flexuosa* y *Gracilaria pauciramosa* satisfacen mejor los requerimientos para brindar servicios como biomonitoras de As, por su estable presencia en tiempo y espacio y variabilidad en los valores bioconcentrados de este metal.

▪ *Gracilaria caudata*, puede ser utilizada para el servicio de monitoreo, si se decidiera mantener una vigilancia en las tres estaciones de mayor evidencia de existencia del metal, no sólo por su presencia temporal y disponibilidad de biomasa, sino también porque es la especie capaz de reportar los mayores valores bioconcentrados.

▪ La influencia de los parámetros químicos físicos del agua y de las acciones físicas (antrópicas y naturales), que por remoción del contaminante desde el sedimento, favorecen el proceso de incorporación del As al alga, deben ser tenidas en cuenta a la hora de hacer una valoración integral del registro que reportan las especies seleccionadas como bioindicadoras de As, para que dicha información se convierta en una herramienta eficaz a la hora de una toma de decisión con relación a la problemática ambiental que genera este tóxico en la bahía de Cienfuegos.

REFERENCIAS

Alonso, C.M., M. Díaz, A. Muñoz, R. Delfanti, C. Papuci, O. Ferrwetti and C. Crovato (2006): Recent changes in sedimentation regime in Cienfuegos bay, Cuba, as infrared from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs vertical profiles. *Continental Shelf Research* 26: 153-167.

APHA –AWWA- WPCF (1995): Digestión de muestras orgánicas por el método Kjeldahl. Standard Methods. En vigor desde 1985. 3ra Edición. 425 pp.

Bird, K. (1984): Seasonal variation in protein:carbohydrate ratios in a subtropical estuarine alga *Gracilaria verrucosa* and the

determination of nitrogen limitation status using these ratios *Bot. Mar.* 27: 111- 115.

Castellanos González, M.E, A. Moreira; H. Maya; S .Pérez; A.R. León y M. Gómez (2005). Concentración de arsénico en macroalgas de la bahía de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 26(1):21-26.

Caraballo, M. (2006): *Informe sobre el estado y control de las Fuentes Contaminantes de la provincia de Cienfuegos*. Informe interno, CITMA, Delegación Cienfuegos, 21 pp.

Devis Prasad, P.V. (1986): A seasonal study of the red seaweeds *Soliera tenera* and three species of *Gracilaria* from Jamaica. *Hidrobiología* 140:167-171.

Díaz, O., E. Recabarren, J. Ward y J. Villalobos (1989): Metales pesados: aspectos ecológicos y tecnológicos-alimentarios. Contribuciones científicas y Tecnológicas. *Área Ambiente* 4(84): 5-10.

Drude de Lacerda, I., V. Laneuville and J. Davée (1985): Seasonal variation of heavy metals in seaweeds from Conceição de Jacareí (R. J.), Brazil. *Botánica marina* XXVIII: 339-343.

Encina, F., L. Chuecas y O. Díaz (1995): Metodología analítica base para la determinación de metales pesados en macroalgas. *En: Manual de Métodos Filológicos* (K. Alveal, M.E Ferrairo, E.C. Olivares y E. Sar, eds.), Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 863 pp.

EN 27888 (1993): Determinación de la Conductividad a 25°C. 15 pp.

Kautsky, L., T. Bokn y N. Norman (1995): Técnicas para estudios de Polución en laboratorio con algas marinas. *En: Manual de Métodos Filológicos* (K. Alveal, M.E Ferrairo, E.C. Olivares y E. Sar, eds.), Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 863 pp.

Kureishy, T., T Abdel and A. Muftah (1995): Marine algae as bioindicators of pollution levels in the Arabian Gulf. *Qatar University Science Journal* 15(1): 215-221.

ISO 9297 (1989): Determinación de Cloruro por el método de Mohr. En vigor desde 1989, 14 pp.

ISO 10523 (1994): Determinación de pH por el método potenciométrico. En vigor desde 1994, 10 pp.

León, A.R., M.E. Castellanos y A.R. Moreira (2002): Algunas consideraciones para la explotación sostenida de la agarófita *Gracilaria blodgettii* de la bahía de Cienfuegos. *Rev. Invest. Mar.* 23 (3):159 - 166.

Lobban, C.S., P.J. Harrison and M.J. Duncan (1985): The physiological ecology of seaweeds. Cambridge University Press London, 242 pp.

Moreira González, A.R., M. Gómez Batista, A.M. Suárez Alfonso; A.R. León Pérez y M.E. Castellanos. (2003): Variación de la composición y abundancia de macroalgas en la bahía de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 24 (2): 83-94.

NEIB 1014.272:89 (1990): Determinación de Arsénico por el método espectrofotométrico. En vigor desde 1990/09, 9 pp.

Muñoz C., A. y O. Díaz G. (2008): Influencia de las mareas, el viento y el aporte fluvial en la dinámica de las aguas en la bahía de Cienfuegos. *Rev. Invest. Mar.* 29(2):101-112, 2008.

Sharp, G.J., H.S. Samant and O.C Vaidya (1988): Selected metal levels of commercially valuable seaweeds adjacent to and from point sources of contamination in Nova Scotia and New Brunswick. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 40:724- 730.

Sanders, J. (1979): The concentration and speciation of arsenic in marine macroalgae. *Estuarine and coastal Marine Science* 9: 95-99.

Seisdedo M. y A. Muñoz (2006): Efecto de las precipitaciones en la calidad de las aguas de la bahía de Cienfuegos. *Revista Cubana de Meteorología* 12(2):64-67.

Seisdedo M y A. Moreira (2007): Comportamiento de las características químico-físicas de las aguas y del fitoplancton de la bahía de Cienfuegos., Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 28(3): 193-199.

Yamaoka, Y. and O. Takimura (1986): Marine algae Resistant to inorganic arsenic. *Agriculture, Biology and Chemistry* 50(1): 185-187.

Aceptado: 12 de mayo de 2008