

# **Concentración de Metales en el Área Manglar de Mar Negro, Reserva Nacional de Investigación Estuarina (Guayama-Salinas), Puerto Rico**

*Dr. José Seguinot Barbosa*  
Departamento de Salud Ambiental  
Escuela Graduada de Salud Pública  
Recinto de Ciencias Médicas

## **Resumen**

Este proyecto consistió en evaluar las concentraciones de metales de la zona conocida como Mar Negro, ubicada en la parte occidental de la Reserva Nacional Estuarina de Bahía de Jobos (Guayama-Salinas), utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) de la percepción remota, posición global (SPG) y el muestreo de campo. El propósito central era muestrear, y evaluar las concentraciones de varios metales pesados (plomo, mercurio, arsénico, cobre) de tal forma que se pudiese determinar como estos están deteriorando la calidad del manglar existente en esta zona geográfica. Para conseguir este objetivo se identificaron las áreas perturbadas, se diseñó y realizó un muestreo sistemático de la presencia de metales pesados y de las condiciones de salud del mangle. Para llevar a cabo los análisis geográficos se introdujeron los datos en el SIG, se realizaron interpolaciones y se analizaron las concentraciones y distribución de los metales pesados en la zona de estudio.

## **Antecedentes**

El Plan de Manejo de la Reserva Nacional Estuarina aprobado en el 2001 deseaba investigar si el problema de la calidad de agua en los canales del Mar Negro era uno causado por la escorrentía agrícola, las descargas industriales y el lixiviado de vertederos, entre otros. Posiblemente, este deterioro en la calidad de las aguas era la causa principal que estaba afectando la vitalidad de los manglares. Para resolver el problema planteado anteriormente El Plan estableció la necesidad de llevar a cabo investigaciones dirigidas a producir un diagnóstico y una acción remediadora a corto, mediano y largo plazo que permitirá restablecer estas zonas manglares a un estado de equilibrio y bienestar.

Las causas de la pérdida del mangle negro dentro de la zona de estudio podían ser varias. A pesar que desde un principio algunos especialistas habían planteado el problema como derivado de la degradación del acuífero o de la salinización de los suelos era necesario integrar estos factores con otros agentes igualmente importantes como lo son la contaminación por metales pesados, la alteración del drenaje y la remoción del terreno. Para ello se establecieron las diferentes variables ecológicas, y químicas que contiene la base de datos de este proyecto.

## **Zona de Estudio**

El área de estudio comprendió una franja rectangular de terreno ubicada al norte del Mar Negro entre las latitudes 17 grados 56 minutos Norte y 17 grados con 57 minutos Norte y 66 grados 14 minutos Oeste y 66 grados con 15 minutos Oeste. La extensión del área es de aproximadamente 3700 pies de largo y 1250 pies de ancho para un área de 4950 pies cuadrados. La zona de estudio (Figura 1) representa un área costera estuarina compuesta en su mayor parte por un sistema de mangle negro. La parte norte la comprende una zona de transición vegetativa altamente alterada por la influencia humana entre la que se incluye la actividad agrícola prevaeciente al norte. La zona está delimitada al oeste por los linderos de la comunidad de Las Mareas, al este por el dique de la termoeléctrica de Aguirre, al norte por la zona agrícola y al sur por la franja manglar perteneciente al Mar Negro. El terreno bajo estudio pertenece a la Reserva Estuarina de Jobos. Los elementos naturales y culturales que están relativamente próximos del área son: la carretera #3, el vertedero regional, el carretón de irrigación, el bosque de Jagüeyes, los canales de drenaje, el dique de la termoeléctrica, la laguna cuadrada, los salitrales y las áreas pantanosas de manglar.

## **Metodología**

Se diseñó un muestreo puntual basado en el tamaño del área de estudio. Ello resultó en una extensión de 70 cuadrículas. La correlación entre el tamaño de la cuadrícula y la escala se confirmó en el terreno a partir de la medición de distancia entre varios puntos conocidos. Luego de dividida la zona de estudio en ArcView 3.2 se escogieron al azar un 20% de las cuadrillas para llevar a cabo el muestreo. Estas catorce cuadrículas fueron escogidas utilizando el programa de Excel. Las cuadrículas seleccionadas aparecen representadas en color amarillo en la figura 1.

El posicionamiento de muestreo en el terreno consistió en traducir al terreno los centroídes o puntos centrales de cada una de las cuadrículas o unidades de muestreo. Para ello en el terreno se identificaron, en la zona de estudio, seis puntos de control (figura 1). Utilizando un sistema de posición global Magellan 2000 (GPS) se establecieron las coordenadas de cada uno de los puntos control y se rectificaron con las coordenadas que ya poseía la Reserva Estuarina para estos puntos. En el suelo se marcó cada uno de los puntos del muestreo usando una varilla de hierro con una cinta verde. En la cinta se escribió el número del punto. Una vez tomadas las coordenadas de cada punto se introdujeron a una base de datos creada en ArcView.

El muestreo sistemático sobre el terreno incluyó la compilación de muestras de sedimentos y/o agua de los puntos seleccionados. En estos puntos se tomaron datos de la concentración de metales pesados (plomo, mercurio, arsénico, cobre) y la condición de la salud de la vegetación y el dominio de cada especie según los parámetros de la American Forestry. Se escogieron estos metales porque eran los que la literatura

establecía como más dañinos a los mangles y porque podían estar asociados a la actividad agrícola e industrial de la zona.

El muestreo se llevó a cabo el 12 de mayo de 2002 para tratar de que el mismo coincidiese con el inicio de la época lluviosa. Las muestras fueron tomadas a partir de la superficie hasta un máximo de profundidad de aproximadamente una pulgada. Se siguieron los criterios de calidad establecidos para este tipo de muestreo. Las muestras fueron guardadas en bolsas plásticas debidamente rotuladas. Luego fueron llevadas al Laboratorio de ELab en Bayamón para su debido procesamiento. Los resultados y métodos usados por ELab aparecen incluidos como apéndices al final de este informe.

Después de procesados los datos en el laboratorio y de haber integrado los resultados a la base de datos creada en ArcView se procedió a realizar los análisis espaciales correspondientes. Para cada una de las variables analizadas se procedió a establecer la distribución espacial utilizando el módulo del Spatial Analysis de ArcView. En primer lugar se hizo un análisis de la distancia entre los puntos de muestreo para así poder establecer los “clusters” o agrupaciones de los mismos (Figura 5). De los mismos puntos se hizo un análisis de proximidad para poder definir las fronteras entre cada uno ello. Estas fronteras definen la extensión de acción de cada punto según ha sido determinado por los valores de sus atributos (Figura 6). Utilizando el componente de análisis de imágenes de ArcView se procedió a determinar las categorías de cobertura del terreno en la imagen de 1997 (Figura 7). La distribución de estas categorías incluye la vegetación arbórea, ciénaga y pantano, mangle, salitral y las áreas perturbadas. Los análisis de distribución para la superficie se hicieron para el Arsénico (Figura 9), el mercurio (Figura 10), el cobre (Figura 11), el plomo (Figura 12) y la salud de la vegetación (Figura 14).

## **Resultados**

Las concentraciones para metales pesados en sedimentos presentan valores que están por debajo de las guías establecidas por la Junta de Calidad Ambiental (ver tabla 3) para el arsénico y el plomo y por encima para el mercurio y el cobre. Estos valores están bastante por debajo de otros encontrados por Alers Soto (2001) en la zona Estuarina de Jobos y por David Acevedo (2001) para las lagunas de San José (San Juan) y Joyuda (Mayagüez), respectivamente. Los valores del arsénico (As) promedian para los puntos de muestreo un total de 1.784 mg/kg. El valor de concentración más alto es de 6.1 y el más bajo es 1.6 mg/kg. Ninguna estación viola el estándar (8.2mg/kg) establecido para el arsénico.

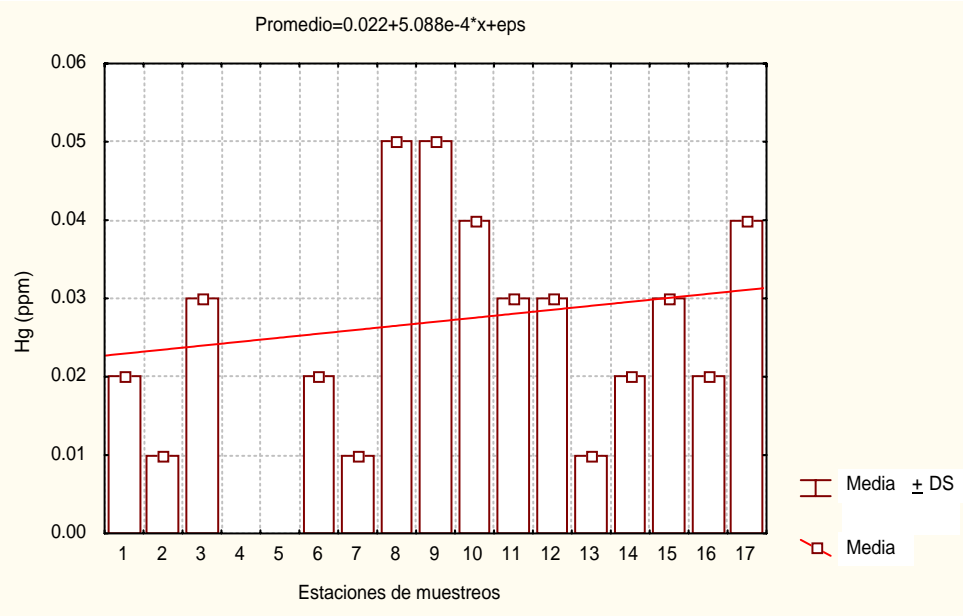
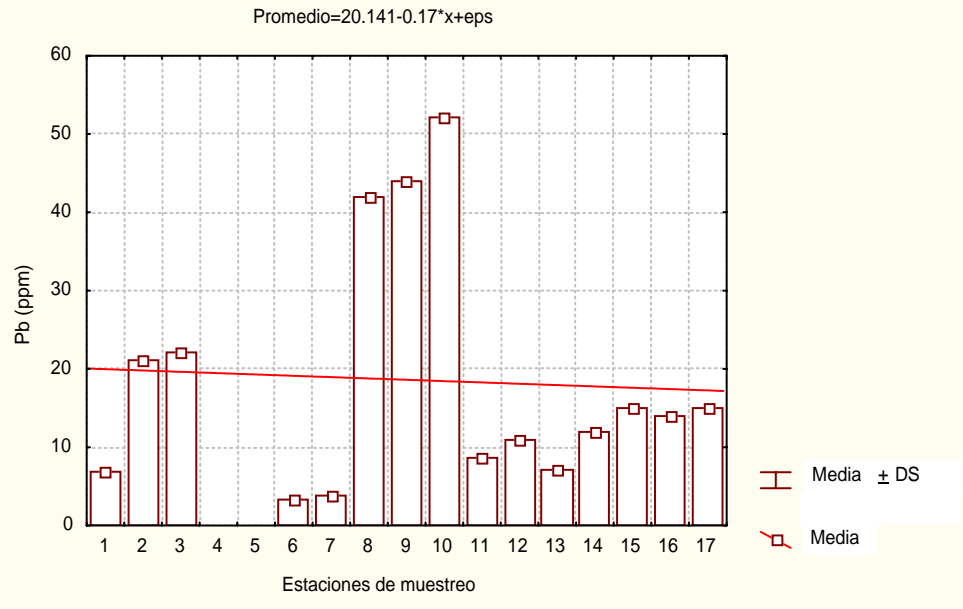
El mercurio (Hg) por su parte se encuentra distribuido muy heterogéneamente por la zona de estudio. La mayor concentración es .05mg/kg, mientras que la menor es .01. El promedio del mercurio para la zona es .022 mg/kg. Las estaciones que violan el estándar (.015mg/kg) establecido para el mercurio son la 1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17. El plomo por su parte se concentra en 52.0 mg/kg en su valor más alto y en 3.3 en su valor más bajo. El promedio de concentración es de 20.141 mg/kg. La estación numero 10 es la única que viola el estándar (8.2mg/kg) de la JCA. El cobre (Cu) aparece distribuido de

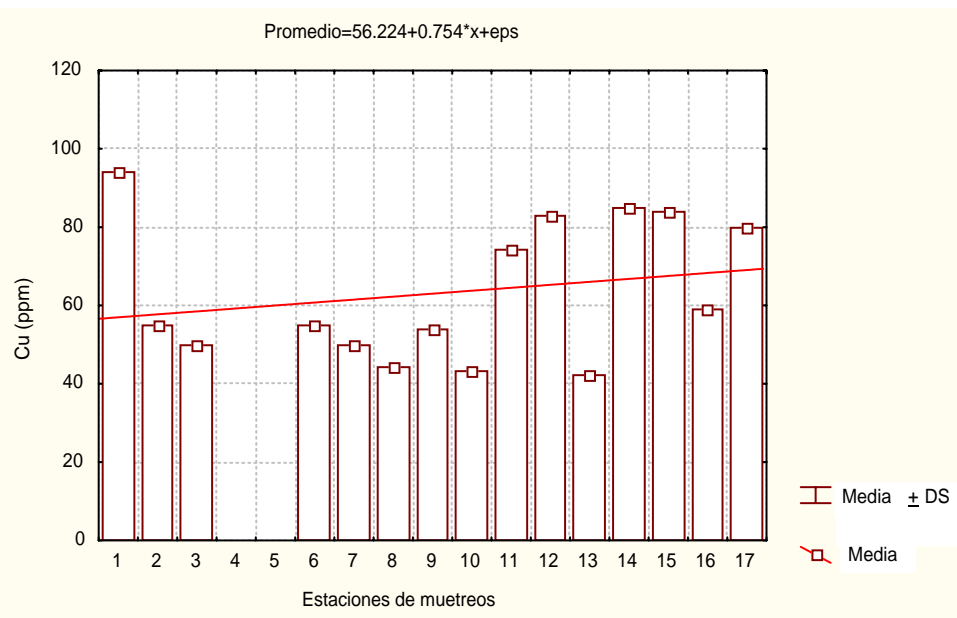
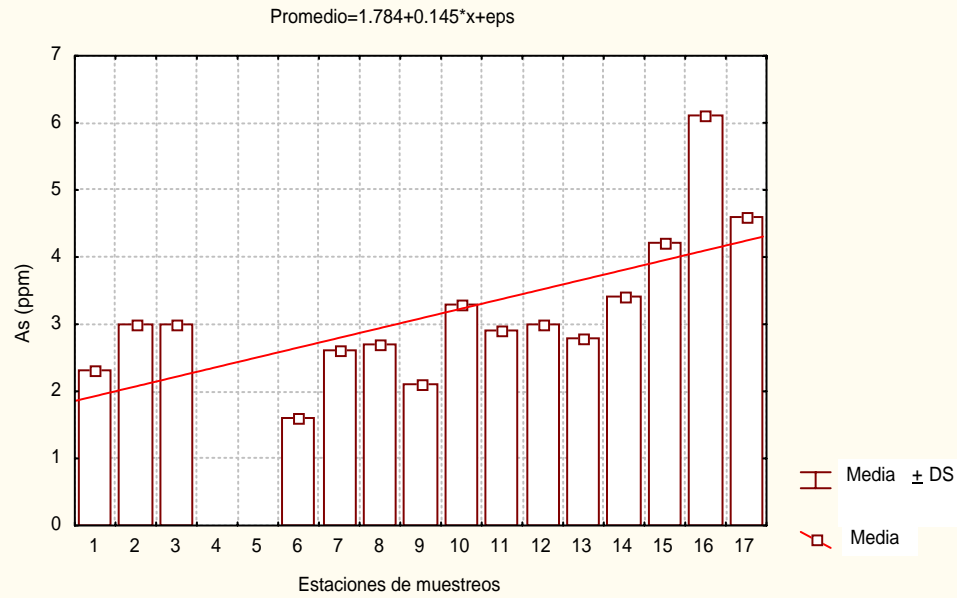
forma más homogénea que los otros metales por la zona de estudio. El valor más alto es de 94.0 mg/kg y el más bajo es de 42.0 mg/kg. El promedio de concentración del cobre es 56.224 mg/kg. Las estaciones que violan el estándar (34mg/kg) establecido para el mercurio son la 11, 12, 14, 15, y 17.

Los análisis de distribución de los metales pesados presentan los resultados resumidos a continuación. El Arsénico (Figura 9) se concentra mayormente en la parte sudoriental alrededor de los puntos 7 y 13. A partir de aquí va disminuyendo en forma gradual hacia el oeste donde vuelven a reaparecer concentraciones más altas alrededor de los puntos 4 y 8. Es posible que estas concentraciones sean causadas por el lavado de desechos químicos que contienen el material de relleno depositado en esta zona. El mercurio (Figura 10) se concentra en los puntos centrales de la zona de estudio en los alrededores de los puntos 2, 11 y 14. A partir de aquí va disminuyendo su concentración en la medida que se aproxima a la tierra. Esto permite plantear el hecho de que posiblemente el mercurio está asociado a algún contaminante que se mueve a través de los canales de agua dentro del mangle.

El cobre (Figura 11) por su parte se concentra en la parte nordeste de la zona de estudio alrededor de los puntos 9, 18 y 15, extendiéndose hasta el punto 12. La mayor parte de la zona presenta una distribución con concentraciones medias (40-80mg/kg). A base de su distribución puede plantearse que la mayor parte del cobre se distribuye por la vía aérea según los patrones dominantes del viento. El plomo (Figura 12) se concentra en la parte norte de la Laguna Cuadrada, en las proximidades de los puntos 11, 14 y 2. A partir de este centro las concentraciones del Pb disminuyen. Posiblemente, estas concentraciones provienen arrastradas por las corrientes superficiales que viajan a lo largo del Canal Central. Se descarta la posibilidad de que estos metales pesados constituyan aportaciones naturales de la geología imperante dado que las formaciones geológicas del área no contienen estos elementos.

La evaluación estadística de los datos refleja para el plomo el mercurio una concentración mayor de las medias en los sedimentos de las estaciones 8, 9 y 10. Mientras que los resultados para Arsénico muestran que el mismo presenta una concentración por encima de la media en las estaciones 15, 16 y 17. Sin embargo, los resultados para el cobre muestran una distribución normal sobre la superficie, con excepción de la estación 1.





Los análisis de correlación (ver tabla 1) para los metales pesados: As, Cu, Hg y Pb mostraron que existe una relación entre As y Hg donde se observó que el aumento en su concentración o la disminución en sus concentraciones afecta a ambos para una  $r_{\text{sperman}} = 0.760$ . Mientras que para Cu y Hg se observó una  $r = 0.841$  lo cual demuestra que existe una relación entre sus concentraciones. En síntesis el análisis de “Sperman rank correlation coefficient” demostró que a medida en que algunas de las variables de As, Cu o Hg se ve afectada, variaría el efecto en sus concentraciones. Mientras que las concentraciones del Pb en el área de estudio no está correlacionada con la presencia o ausencia de As, Cu o Hg.

**Tabla1. Correlación entre las muestras y los Metales Pesados**

			AS	HG	PB	CU	
Spearman's test	AS	Correlation Coefficient	1.000	.086	.346	.278	
		Sig. (2-tailed) N	.	<b>.760</b>	.206	.315	
	HG	Correlation Coefficient	.086	1.000	.677	-.057	
		Sig. (2-tailed) N	<b>.760</b>	.	.006	.841	
	PB	Correlation Coefficient	.346	.677	1.000	-.304	
		Sig. (2-tailed) N	.206	.006	.	.270	
	CU	Correlation Coefficient	.278	-.057	-.304	1.000	
		Sig. (2-tailed) N	.315	<b>.841</b>	.270	.	
			N	15	15	15	15

\*\* Correlación es significativa a partir de  $p = 0.01$  (2-rabos).

## Conclusiones

El hecho de que la introducción de químicos al ambiente esté causando la muerte del manglar es un escenario que ha sido evaluado según la concentración de metales pesados, para luego correlacionar estas concentraciones con otros componentes biológicos y físicos. En primera instancia es importante dejar establecido que las concentraciones de metales solo exceden los límites permitidos en las guías de la JCA en estaciones específicas. Sus concentraciones inclusive son más bajas que las encontradas para otros estuarios de Puerto Rico y para otras zonas de la Reserva de Jobos. Los promedios para todos los puntos de muestreos están por debajo de los estándares establecidos por la JCA, con excepción del cobre.

Los metales que llegan a la zona pueden provenir de descargas industriales por la vía aérea y acuática. En algunos casos los metales muy posiblemente provengan de materiales químicos que se usaron como parte del material de relleno para algunas áreas. No obstante, los niveles químicos no parecen ser lo suficientemente peligroso como para llevar el mangle a un estado de mortandad. La difusión de los metales está vinculada al patrón de circulación del viento, a las marejadas y a las escorrentías existentes. Dado que el patrón de usos del suelo existente en la periferia de la zona de estudio incluye la existencia de zonas agrícolas y de áreas industriales es posible sostener que el mayor contribuyente a la presencia de estos metales es la actividad industrial y agrícola. En síntesis los metales pesados no parecen ser el factor más determinante en la mortandad registrada por el mangle negro de la zona de estudio. No obstante, sería muy pertinente

mantener estos niveles bajo monitoreo continuo para evitar un incremento en los mismos. En el caso del cobre y del mercurio los límites exceden los promedios permitidos.

## Referencias

1. Acevedo Figueroa David, (2001), *Comparative Analyses of Heavy Metals in Sediment and Water from Two Coastal Lagoons in Puerto Rico*, Tesis MS, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Ciencias Médicas, Departamento de Salud Ambiental.
2. Alers Soto David, (2001), *Determinación Espacial de Metales Traza en Crassostrea Rhizophorae de la Zona Estuarina Tropical en la Reserva Nacional, Bahía de Jobos*, Tesis MS, Inter American University, San Germán, Departamento de Química.
3. Altieri Carlos y Rodríguez C., (2001), *Atrazine, Alachlor and 2,4-D Levels in Water Samples of Jobos Bay National Estuarine Research Reserve- JBNERR*, Department of Environmental Health, Medical Sciences Campus, UPR.
4. *ArcView GIS 3.2*, 1998, ESRI, Redlands, California, p.370.
5. *ArcView, Image Analysis*, 1998, ESRI, Redland, California, p.210.
6. Berryhill Henry, (1960), *Geologic of the Central Aguirre Quadrangle, Puerto Rico*, USGS, Map I-318, Washington D.C.
7. Briggs Reginald y Akers P., (1965), *Hidrogeologic Map of Puerto Rico and Adyacent Islands*, USGS, Atlas HA-197, Washington D.C.
8. Cintron Gilberto y Novelli S., (1984), *Methods for Studying Mangrove Structures*, Unesco, Monographs on Oceanography Methodology, pp. 91-113.
9. Cintron Molero, G. and Y. Schaeffer Novelli, (1992) *Ecology and management of New World mangroves. In: Coastal Plant Communities of Latin America*, Academic Press, SanDiego, U.S.A., p.233-258 ,
10. *City Green 4.0*, (2000), American Forests, Washington D.C., p.159.
11. Demopoulos Amanda, (2001), *Recolonizacion y Sucesión de la Fauna del Manglar después de los Disturbios de Huracanes*, JOBNER, Guayama, Puerto Rico.
12. *"Ecology and Management of Mangrove Restoration and Regeneration in East and Southeast Asia*, Proceedings of ECOTONE IV Regional Seminar , 18-22 Jan. '95, UNESCO/National MAB Committee, held in Surat Thani, Thailand,

13. Estados Unidos y el Departamento de Transportación y Obras Públicas de Puerto Rico, *Fotografía aéreas de Bahía de Jobos 1937, 1977, 1985, 1997, 1999*, Preparadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos, División de Fotogrametría, Escala 1:20.000.
14. Gilmore, R.G. and S.C. Snedaker, (1993), *Mangrove forests*. In: Biodiversity of the Southeastern United States: Lowland Terrestrial Communities, pp. 165-198 (W.H. Martin, S. Boyse and K. Echternacht, eds.). John Wiley, New York.
15. Gomez, E.D. *Natural stressors in the mangrove ecosystem*. Bakawan, 9-11.
16. Goudie Andrew (1981), *The Human Impact*, MIT Press, Cambridge, Massachusett.
17. Glover Lynn, (1961), *Preliminary Geologic Map of the Salinas Quadrangle, Puerto Rico*, USGS, Map I-337, Washington D.C.
18. Guía de Restauración, Creación y Mejoramiento de Humedales de la NOAA (2000).
19. Jobos Bay National Estuarine Research Reserve, *Management Plan*, Department of Natural Resources and National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington D.C., 2000.
20. PNUMA, (1995), *Memorias del II Simposio Internacional de Humedales*, Ed. Academia, Habana, Cuba, 215p.
21. Ruetzler, K. and Feller I, (1996), *Caribbean mangrove swamps*. Scientific American 274: 94-99.
22. Seguinot Barbosa J., (1986), *Interpretación Aérea de los cambios geográficos ocurridos en la Bahía de Jobos Guayama, Puerto Rico*. Science-Ciencia v.13 no.1
23. Soil Survey for Humacao and Eastern Puerto Rico (1977), Soil Conservation Service, US Department of Agriculture and University of Puerto Rico, p.103.

## Estándares establecidos por la JCA de Puerto Rico.

**Tabla 2. Características Tóxicas de Contaminantes y su Niveles de Regulación.**

<i>EPA Num.</i>	<i>Contaminante</i>	<i>Referencia Tóxica Cronica (mg/L)</i>	<i>Niveles Regulatorios (mg/L)</i>
<i>D004</i>	<b>Arsenico</b>	<b>0.05</b>	<b>5.0</b>
<i>D006</i>	<b>Cadmio</b>	<b>0.01</b>	<b>1.0</b>
<i>D007</i>	<b>Cromio</b>	<b>0.05</b>	<b>5.0</b>
<i>D008</i>	<b>Plomo</b>	<b>0.05</b>	<b>5.0</b>
<i>D009</i>	<b>Mercurio</b>	<b>0.002</b>	<b>0.2</b>
<i>D011</i>	<b>Plata</b>	<b>0.05</b>	<b>5.0</b>

- Adoptado por la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (Juárez, 2002)

**Tabla 3. Valores utilizado en la Evaluación Ecológica de Campo.**

<i>Metales</i>	<i>mg/kg, peso seco</i>
<i>Arsénico</i>	8.2
<i>Cadmio</i>	1.2
<i>Cromio</i>	81
<i>Cobre</i>	34
<i>Plomo</i>	47
<i>Mercurio</i>	0.15
<i>Nikel</i>	21
<i>Plata</i>	1.0
<i>Zinc</i>	150

Guía para la Evaluación del Sedimento. New Jersey, Departamento de Protección Ambiental.  
Noviembre, 1998.