

# Metales pesados en sedimento marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

Rosa E Zamudio-Alemán, Maria del Refugio Castañeda-Chavez, Fabiola Lango-Reynoso, Itzel Galaviz-Villa, I. Araceli Amaro-Espejo, Luciana Romero-González

Laboratorio de Recursos Acuáticos  
Instituto Tecnológico de Boca del rio  
Veracruz, México  
zrosaelena@hotmail.com, castanedaitboca@yahoo.com

**Abstract**— The Veracruz Reef System National Park (PNSAV), located in front of the township Veracruz-Boca del Rio and Anton Lizardo, Veracruz, Mexico; was enacted in 2006, biosphere reserve and natural protected area. This ecosystem is exposed to anthropogenic effects, river discharge, port traffic, and tourism; that provide sediments which affect corals. This research aims to identify the concentration of Cu, Cd and Zn in sediments PNSAV as diagnosis of the main point sources of pollution. We used atomic absorption spectrometry for the analysis of 12 samples of sediments. The concentrations obtained by Cu, Cd and Zn were 0.1392 mg / kg, 0.001 mg / kg and 2.3606 mg / kg, respectively.

*Keywords*- Atomic absorption spectrophotometry, marine sediments, trace metals, reef.

**Resumen**— El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), se encuentra ubicado frente al municipio de Veracruz-Boca del Río y Antón Lizardo, Veracruz, México; fue decretado, en 2006, reserva de la biosfera y área natural protegida. Este ecosistema está expuesto a los efectos antropogénicos, descarga de los ríos, tráfico portuario y el turismo; que proveen sedimentos que afectan a los corales. El objetivo de esta investigación fue identificar la concentración de Cu, Cd y Zn en los sedimentos del PNSAV, como diagnóstico de las principales fuentes de contaminación. Se utilizó espectrofotometría de absorción atómica para el análisis de las muestras de sedimentos. Las concentraciones obtenidas por Cu, Cd y Zn fueron 0,1392; 0,001 y 2,3606 mg / kg, respectivamente.

*Palabra clave*- Espectrofotometría de absorción atómica, Sedimentos marinos, metales traza, arrecife.

## I. INTRODUCCIÓN

En estos últimos años, se ha considerado que los arrecifes de coral en todo el mundo se encuentran bajo amenaza de extinción, esto como consecuencia del cambio climático y contaminación antropogénica, lo que genera una alta mortalidad y una regeneración difícil y a largo tiempo [9, 13,16]. El crecimiento acelerado de la población humana sobre los márgenes de las zonas costeras adenañas a los arrecifes, ha provocado cambios físicos, químicos y biológicos en estos sistemas [7]. El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) está expuesto a efectos locales como las descargas del Río Jamapa, que se estiman con un flujo de 1670 x106 m3 al año, también se tiene la influencia del Río Papaloapan que descarga 20000x106 m3 al año [14]. Las descargas de los ríos son ricas en nutrientes, además de los sedimentos, estas características causan afectaciones adversas para los arrecifes coralinos los que prefieren condiciones oligotróficas y de aguas claras [15]. Cabe mencionar que el PNSAV se encuentra ubicado junto a la ciudad costera más grande México [10] con el tráfico portuario más grande del país, estimado anualmente entre 1809 y 1505 buques [1].

El sistema arrecifal Veracruzano (SAV) ostenta la denominación de Parque Marino Nacional; es el sistema más desarrollado en el Golfo de México ubicado frente a las costas y puerto de Veracruz. Se sigue utilizando como área de pesca y de extracción de corales y otras especies sin control estricto de las autoridades, lo que ha provocado una merma considerable de estos recursos. Uno de los principales

agentes de contaminación de la zona costera son los metales pesados cuya movilización por las actividades productivas del hombre, ha superado los flujos naturales derivados de procesos geológicos, como producto de las descargas fluviales [12].

El término de metales pesados refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico(As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros [11]. Los sedimentos marinos actúan como integradores y concentradores de metales pesados dependiendo de la forma química y física de cada metal, estos pueden movilizarse y ser atrapados a través de las membranas biológicas de las diferentes especies marinas. El objetivo de este estudio fue identificar la concentración de metales Cu, Cd y Zn en los sedimentos del PNSAV para definir las fuentes puntuales de contaminación; naturales, antropogenicas e industriales, que pueden causar un impacto negativo al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

## II. MATERIALES Y METODOS

### A. Área de estudio

El presente estudio fue realizado en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), se encuentra situado entre las coordenadas 19°00'00" - 19°16'00" N y 95°45'00"-96°12'00" W, en la porción central del Estado de Veracruz. La extensión del PNSAV es de 65,516 ha (Fig. 1).

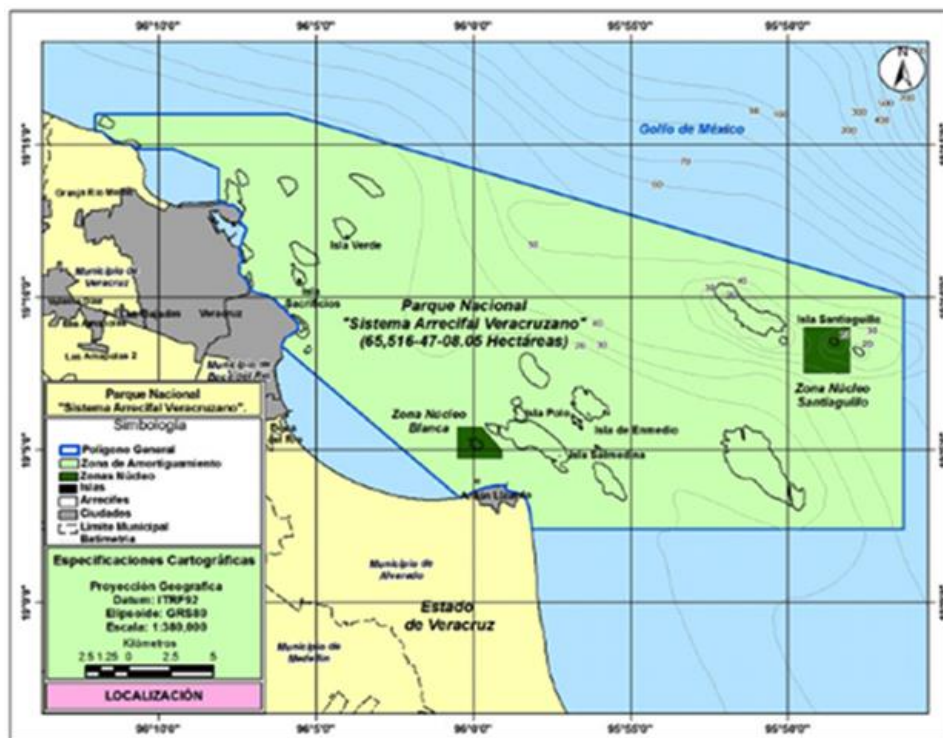


Fig. 1. Localización esquemática del PNSAV (DOF, 2012).

### B. Recolección y procesamiento de muestras

Se establecieron 12 sitios de muestreo ubicados dentro del PNSAV. El muestreo se realizó durante un ciclo anual dividido en tres periodos: Enero-Abril 2012 (P1), Mayo-Septiembre 2012 (P2) y Enero-Abril 2013 (P3). Se obtuvieron muestras de sedimento marino, por cuatrimestre y por duplicado, dentro del

polígono del PNSAV. Se establecieron 8 transectos fijos de 80 metros cuadrados. El criterio de selección para realizar la toma de muestras de sedimentos por arrecife, fue la proximidad de cada uno de éstos a posibles fuentes de contaminación. La recolecta de muestras se realizó por buceo tipo scuba para evitar posible contaminación de las muestras y alteración de los resultados. Las muestras colectadas fueron colocadas en envases de polietileno previamente lavados con HNO<sub>3</sub> al 10% y con abundante agua desionizada. Las muestras se transportaron al laboratorio del Instituto Tecnológico de Boca del Rio (ITBOCA) a una temperatura de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . Se preservaron en el laboratorio a temperatura de congelación hasta su análisis.

### C. Extracción de metales traza Cu, Cd y Zinc

La digestión de muestras de sedimento marino se realizó en un horno de microondas marca CEM con el propósito de liberar los elementos metálicos de interés, lo anterior de acuerdo a las técnicas descritas en el manual de operación de equipo (CEM, 2001). Previo a iniciar el proceso digestión en el horno, la preparación de la muestra consistió en adicionar a 0.5 g de sedimento, 10 ml de HNO<sub>3</sub> grado reactivo al 70% (suprapuro). Todas las muestras fueron analizadas con una muestra blanco, que contenía 0.5 ml de agua bidestilada y 10 ml de HNO<sub>3</sub> de las mismas características; y un control de referencia. La programación del proceso de digestión fue el Método Soil-3051 HP500 (Tabla 1). Una vez realizada las digestión de las muestras el liquido obtenido se trasvasa a matraces de 25 ml y se afora con agua ácida (HNO<sub>3</sub> al 10 %). Al término del aforo se agitan y se trasvasan nuevamente a frascos de polipropileno color ámbar para su almacenamiento hasta su lectura.

Las lectura de los metales Cd, Cu y Zn fue realizada por espectrofotometría de absorción atómica de flama con un equipo Thermo Cientific Modelo Ice 3500 AA System. Las condiciones de operación del equipo fueron las sugeridas por el fabricante. Para iniciar el procedimiento de lectura de muestras fue necesaria la preparación de una curva de calibración para cada uno de los metales, con los que se utilizó estándares certificados marca High Purity Standards. Todas las muestras se leyeron por duplicado.

Tabla I. Programación del Horno de Microondas: Método Soil- 3051 HP500.

Etapa	Potencia		Rampa	PSI	°C	Mantenimiento
	Max	%				
1	1200 W	100	2:00 min	300	165	0:00 min
2	1200 W	100	3:00 min	300	175	5:00 min

## III. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis los datos obtenidos se aplicó una prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas. Además de un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%. Lo anterior con el programa STATISTICA versión 7.0

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Cu (mg/kg) en sedimentos marinos por periodos de muestreo en el PNSAV

En los periodos de muestreo se presentaron eventos naturales característicos de cada temporada, como lluvias, nortes y estiaje. En Enero-Abril 2012 (P1), Mayo-Septiembre 2012 (P2) y Enero-Abril 2013 (P3); la concentración más alta de Cobre se presentó en el periodo P1(Fig. 2). No se observó diferencia significativa entre P1 y P2, y entre P2 y P3 ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, se presentaron

diferencias entre las concentraciones de cobre obtenidas en el periodo P1 y P3. De acuerdo a los estudios realizados por otros autores y a las características de algunos metales, la presencia de cobre se debe al aporte de efluentes de domésticos y descargas de los ríos [5].

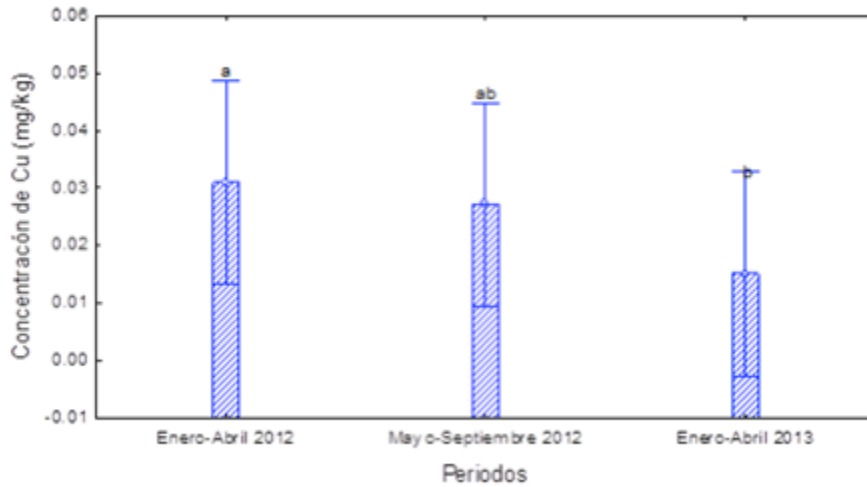


Fig. 2. Cu en sedimentos. Diferentes subindices indican diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

*B. Cd (mg/kg) en sedimentos marinos por periodos de muestreo en el PNSAV*

De los tres periodos de muestreo, P1 presentó la mayor concentración de Cadmio, y posteriormente esta concentración disminuyó para el P2 y P3 durante los cuales se mantuvo constante. Se observó que existe diferencia significativa entre P2 y P3 con respecto al P1 (Fig. 3). El sedimento proveniente de materiales erosionados de la tierra es transportado por el flujo de los ríos cercanos y los efluentes domésticos [5].

*C. Zn (mg/kg) en sedimentos marinos por periodos*

En los periodos de muestreo P1, P2 y P3, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en las concentraciones de Zn (Fig. 4). Los resultados obtenidos reflejan que probablemente y debido a las características de las corrientes el río Jamapa puede considerarse la principal fuente de descarga de Zn al medio acuático [5].

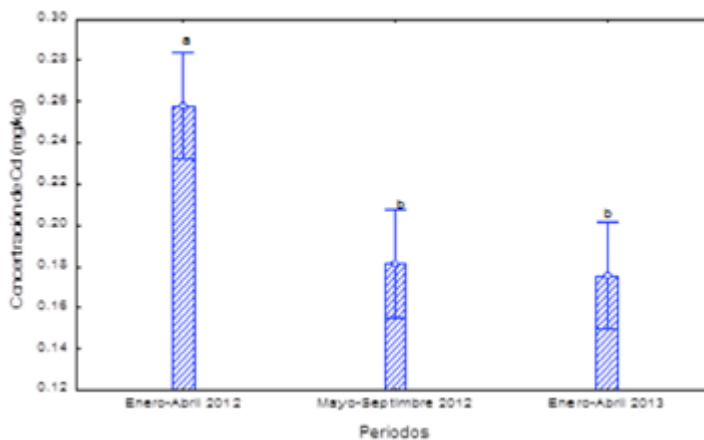


Fig. 3. Concentración de Cd en sedimentos, sin diferencias significativas entre periodos.

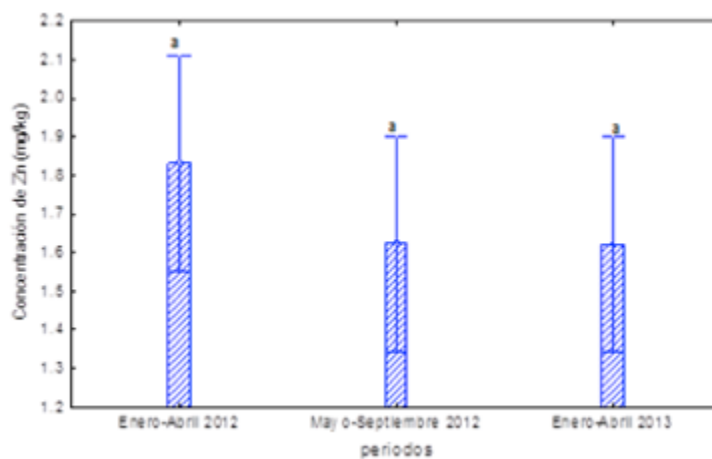


Fig. 4. Concentración de Zn en sedimento, sin diferencias significativas entre periodos.

*D. Cd (mg/kg) en sedimentos marinos por sitios*

Para el Cd se encontró diferencia significativa entre los sitios 1, 3 y 6 (Galleguilla, Blanquilla y Blanca) y los sitios 8 y 11 (Sargazo y Cabezo Norte); pero no se observaron diferencias significativas entre otros sitios dentro del mismo grupo (Fig. 5). Las diferencias marcadas son entre los sitios (8 y 11) que se encuentran al sur del PNSAV y los del norte. La presencia de este metal en los sitios de muestreos se debe a las fuentes antropogénicas identificadas que descargan en la zona de estudio [5].

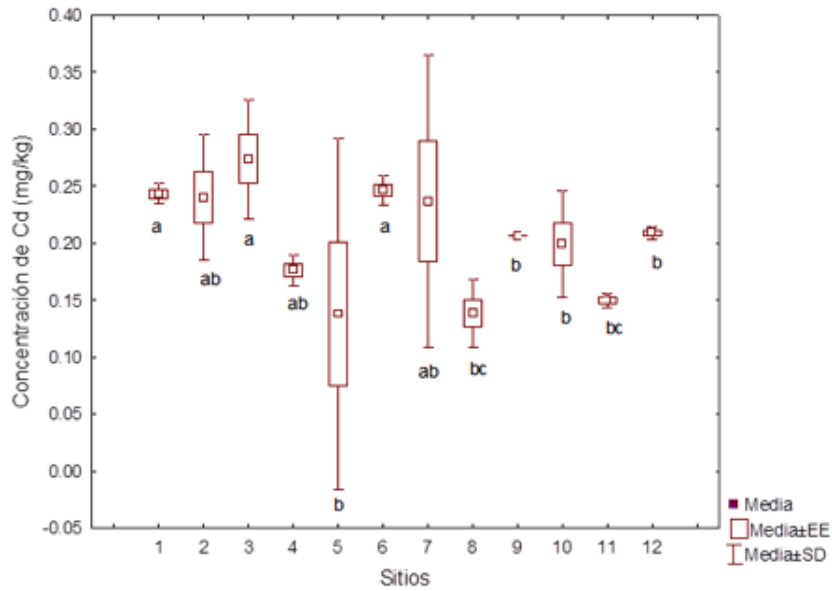


Fig. 5. Concentración de Cadmio; “ab” indica diferencias significativas.

E. *Cu (mg/kg) en sedimentos marinos por sitios*

En la concentración de Cu no se observaron diferencias significativas entre los sitios 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 10. Pero el sitio 4 es significativamente diferente al 1, 3, 6, 8 y 12 (Fig. 6). Fue posible observar que las diferencias encontradas se agrupan en aquellos sitios al norte del PNSAV y los que se encuentran al sur. La presencia de Cu en el PNSAV se relaciona con los efluentes industriales y domésticos [5].

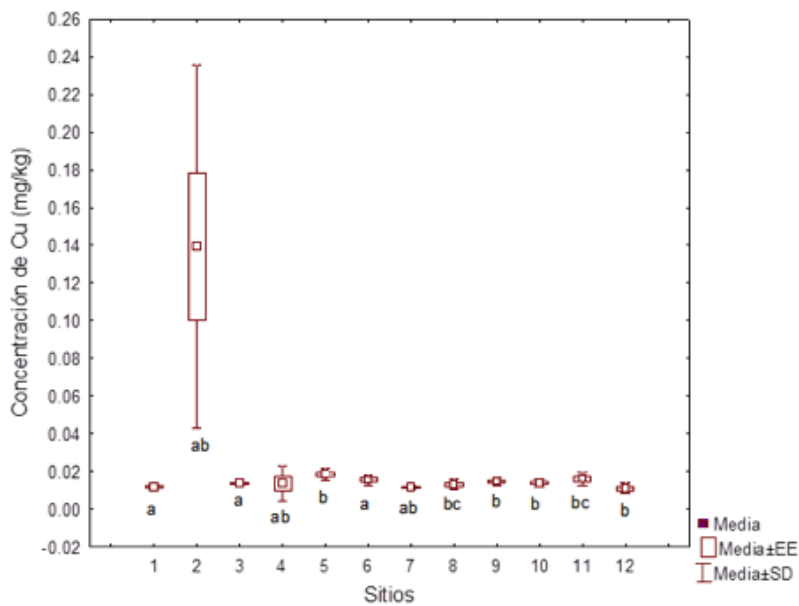


Fig. 6. Concentración de Cobre en sedimentos marinos; “ab” indica diferencias ( $p > 0.05$ ) entre sitios.

### F. Zn (mg/kg) en sedimentos marinos por sitios

Para el Zn el valor más alto se registró en el sitio 4 (Verde), las diferencias significativas evidentes fueron entre los sitios 1, 3 y 6 (Galleguilla, Blanquilla y Blanca), con respecto a los sitios 8 y 11 (Sargazo y C. Norte) ubicados en la zona sur. Los sitios 1 y 3, que se encuentran al norte del PNSAV, no son significativamente diferentes entre sí, pero si a los que se encuentran ubicados en la sección norte del PNSAV (Fig. 7). La presencia de Zn en el PNSAV es atribuido a los efluentes domésticos que son descargados directamente al mar [5].

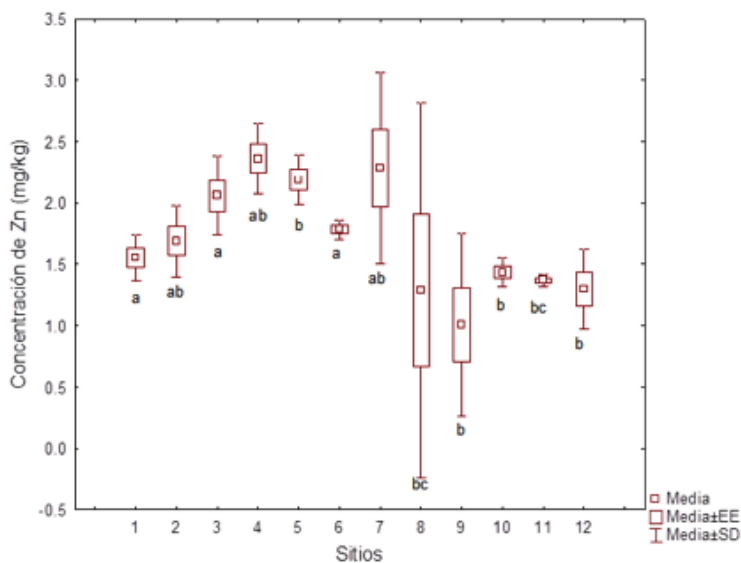


Fig. 7. Concentración de Cadmio en sedimentos marinos; “ab” indica diferencias ( $p > 0.05$ ) entre sitios.

El diagnóstico sobre la identificación de fuentes puntuales de contaminación (FPC) del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, indica los puntos que impactan negativamente el ecosistema. La naturaleza de las FPC es de diversa índole; efluentes industriales, domésticos y fluviales. El puerto de Veracruz es un puerto de intenso tráfico marino, de actividades energéticas, petroleras, pesqueras, con trabajos de dragado y perforaciones del piso oceánico, alto crecimiento poblacional y desarrollo turístico. El PNSAV ha sufrido por años las consecuencias del vertimiento masivo de toda clase de desechos de la industria química, manufactura de textil, papel, madera, siderúrgica, procesadora de alimentos, cervecera, del calzado; además de pesticidas y fertilizantes empleados en la industria agropecuaria de las principales ciudades veracruzanas como Cd. Mendoza, Rio Blanco, Nogales, Orizaba, Córdoba, Jalapa, Veracruz, Alvarado, entre otras [5,11].

### G. Concentración de metales en sedimento

La presencia de metales pesados en sedimentos con influencia del caudal del Rio Jamapa, sugiere la fuerte influencia terrígena de su cuenca de drenaje, en la cual afloran terrenos volcánicos [18]. Muchas de las investigaciones sobre la evaluación de metales pesados en organismos de las zonas costeras veracruzanas ha sido centrada en bivalvos; como mejillones y ostiones. Estos han recibido

considerablemente vigilancia para el monitoreo de metales traza, debido a su capacidad para reflejar los niveles ambientales de contaminantes en los ecosistemas estuarinos y marinos [17]. Los metales trazas en los ecosistemas naturales oceánicos, marinos y lacustres, constituyen uno de los aspectos más importantes de la polución. Son la presentación de la materia inorgánica, la cual es considerada como esencial y tóxica dependiendo tanto de la especiación química del elemento, como de su contenido [2,4].

Los metales que entran al mar como producto de las emisiones terrestres pueden disolverse en el agua o ser transportados y depositados directamente a los sedimentos marinos. La biota marina bioacumula metales presentes en el agua de mar durante la degradación del material biogénico detrítico, y pueden absorberlos o liberarlos directamente a los sedimentos. La actividad humana se considera como la principal fuente antropogénica que introduce metales al ecosistema marino, como son los desechos municipales e industriales que llegan al mar por escorrentía limnias, pluviométricas o vía atmosféricas. La contaminación por metales pesados, como el cobre, puede afectar la fotosíntesis y desarrollo de las algas, así como las primeras etapas de desarrollo de los animales marinos y ser causa de la muerte de los mismos [6].

Las concentraciones de metales en sedimento marino obtenidas en esta investigación difieren de las reportadas en estudios previos de esta zona, o para lo obtenido en otras zonas profundas con alto potencial de explotación de crudo, como el Golfo de Arabia, Golfo de México y costas de Kuwait; destacándose el impacto de las actividades de explotación de petróleo sobre la concentración de metales en sedimentos [3].

## V. CONCLUSIONES

El contenido de metales pesados en sedimentos marinos del PNSAV sobrepasa el límite establecido para sedimentos no contaminados por metales pesados con Cd, Cu y Zn. Esto confirma una elevada influencia antrópica provocada por el flujo direccional inducido por la hidrodinámica del Golfo de México. Esto puede afectar la estabilidad del sistema del PNSAV poniendo en peligro la vida de la biota acuática.

La concentración por cobre en el agua puede afectar la fotosíntesis y desarrollo de las algas, así como las primeras etapas de desarrollo de los organismos marinos (huevos, larvas, etc.), e incluso provocar la muerte de los mismos. El cobre entra al mar por efluentes domésticos e industriales, descargas atmosféricas y por circunnavegación de diversos tipos de embarcaciones. Luego es biodepositado y acumulado en los sedimentos mediante los procesos biogeoquímicos.

La presencia de Cd, Cu y Zn en los sedimentos del PNSAV está asociada directamente con la textura del grano sedimentario prevaleciente, encontrándose las mayores concentraciones en los sedimentos finos. La elevada concentración de Zn en los sedimentos del PNSAV probablemente esté asociada a las descargas de aguas residuales de la zona, estas concentraciones podrían servir de referencia para estudios posteriores.

Existen fluctuaciones en la concentración de los diferentes metales durante los periodos de muestreo que pueden ser atribuidos a los fenómenos naturales que se presentaron durante enero del 2012 a abril 2013; aunado a las actividades antropogénicas desarrolladas en cada periodo de muestreo.

Los altos niveles de metales en el Golfo de México se deben principalmente a la introducción continua y masiva de aguas residuales de ciudades costeras, a los aportes industriales, de minería, tenería, galvanoplastia y de fertilizantes, las cuales varían con periodicidad y magnitud en las descargas.



La contaminación causada por metales pesados en el PNSAV es atribuida al cauce de los ríos, nuevos crecimientos poblacionales y a la ausencia de programas efectivos de vigilancia y control de una verdadera aplicación de normas ambientales.

## RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue realizado con el apoyo Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), del Instituto Tecnológico de Boca del Río, y de la Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

## REFERENCIAS

- [1] APIVER, 2005. Resumen de movimientos de buques y carga. Administración Portuaria Integral de Veracruz. <http://148.223.221.118/apiwww/op-movimiento2.htm>
- [2] Aranda, S. 1999. Condiciones geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo. Traba. Gran. Lic. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 93pp.
- [3] Ávila. H., Gutiérrez. E., Ledo. H., Araujo. M., Sánquiz. M. 2010. Heavy metals distribution in superficial sediments of Maracaibo Lake, Venezuela. *Rev. Téc.* 33(2):122-129.
- [4] Bonilla 1997. Condiciones Hidroquímicas del Agua y Características Físicoquímica de los Sedimentos del Golfo de Paria, Durante la Expedición LS-7302. *Bilo. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*, 16(1 & 2): 99-114.
- [5] Botello, A. V., J. Redón von Osten., G. Gold-Boucht y C. Agraz-Hernández. 2005. Golfo de México Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da edición. 76 p.
- [6] Bonilla, S. J., Ramírez. C., Moya. J., y Márquez. A. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo. Estado Sucre - Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. de Venezuela Univ. de Oriente*. 42 (1 y 2): 3 – 27.
- [7] Dikou, A., 2010. Ecological Processes and Contemporary Coral Reef Management. *Diversity*. 2: 717-737. [En línea] URL:<http://www.mdpi.com/1424-2818/2/5/717>
- [8] DOF. 2012. Diario Oficial de la Federación. DECRETO que modifica al diverso por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del Estado de Veracruz Llave. [En línea] URL:[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5280548&fecha=29/11/2012](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280548&fecha=29/11/2012)
- [9] Grismsditch, G.D., y V. Slam, R. 2006. Coral Reef Resilience and Resistance to Bleaching. IUCN Resilience Science Group Working Papers Series No1. IUCN, Gland, Switzerland. 52pp. [En línea] URL:[http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=UFCXGU\\_8TIMC&oi=fnd&pg=PA6&dq=Coral+Reef+Resilience+and+Resistance+to+Bleaching&ots=fLsQxypq6r&sig=VuYj2bHnEP2TGcy53LDwE\\_Kcq2g#v=onepage&q=Coral%20Reef%20Resilience%20and%20Resistance%20to%20Bleaching&f=false](http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=UFCXGU_8TIMC&oi=fnd&pg=PA6&dq=Coral+Reef+Resilience+and+Resistance+to+Bleaching&ots=fLsQxypq6r&sig=VuYj2bHnEP2TGcy53LDwE_Kcq2g#v=onepage&q=Coral%20Reef%20Resilience%20and%20Resistance%20to%20Bleaching&f=false)
- [10] INEGI. 2005. Anuario Estadístico Veracruz Ignacio de la Llave. [En línea] URL:<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825054021&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=8&pg=0>
- [11] Lucho, C. A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. and Poggi, H. 2005a. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soil in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental internacional* 31(3):313-23.

- [12] Morlán, Cahue, Y., y H. Opego, Piña, 2005. Determinación de metales (Fe, Mn, Pb y Zn) en Macroalgas Clorofitas del Sistema Arrecifal Veracruzano, México, p.373-388. In: A.V Botello, J. Rendón, Von Sten, G. Gold, Bouchot y C. Agraz, Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. De Campeche, Univ. Nal Autón. De México, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- [13] Pandolfi, M., S. Connolly., D. Marshall. A. Cohen. 2011. Projecting coral reef futures under global warming and ocean acidification. *Science*. 333: 418-422.
- [14] PEMEX. 1987. Evaluación de los corales escleractinios del sistema arrecifal del Puerto de Veracruz. PEMEX y SEMAR, México. GPTA-E-01/87.
- [15] Veron, J., 2000. Corals of the world, Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia. Vols. 1–3. 1410 pp.
- [16] Veron, J., DeVantier, M., Turak, E., 2009. Delineating the coral triangle. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies* 11: 91-100
- [17] Villanueva, F. S y Páez, O. F. 1996. Niveles de metales en el Golfo de México: agua, sedimentos y organismos. 309-347 p. In: Botello. A. V, Rojas. G. L, Benítez. J. A, Zarate. L. D. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX Serie Científica, 5. 666 p.
- [18] Rosales, H. L., Kasper, Z. J, J., Carranza, E. A, y Celis, Hdez. O. 2008 Geochemical composition of surface sediments near Isla de Sacrificios Coral reef ecosystem, Veracruz, México. *Hidrología* 18(2):155-165.