

# Evaluación de la Acumulación de Hg, Pb, Cd y Zn en Sedimentos y Lirio Acuático (*Nymphaea ampla*) en el Río Hondo de Quintana Roo

José Luis González Bucio<sup>1</sup>, José Manuel Carrión Jiménez<sup>1</sup>, Víctor Hugo Delgado Blas<sup>1</sup>, José Martín Rivero Rodríguez<sup>1</sup>, Joel Omar Yam Gamboa<sup>1</sup>, Josefina Pérez Vargas<sup>2</sup>, Graciano Calva Calva<sup>3</sup>

## Resumen

El Río Hondo de Quintana Roo transporta desechos agroquímicos y metales pesados que se vierten de las zonas cañeras y poblaciones de la zona fronteriza México-Belice. En este trabajo se determinó el contenido de mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y cinc (Zn) en sedimentos y plantas de lirio acuático (*Nymphaea ampla*) en cinco sitios de esta zona sobre la ribera de este río para investigar si el contenido de dichos metales pudiera influenciar negativamente a las comunidades que consumen los alimentos faunísticos que dependen del río, entre ellas, las poblaciones humanas ubicadas en la ribera del río y que utilizan esta agua para preparar sus alimentos, actividades domésticas y para riego. Los resultados demuestran que *Nymphaea ampla* puede acumular altas cantidades de mercurio y en menor grado plomo y zinc, por lo que puede ser una especie con potencial para la fitorremediación de aguas con alto contenido de estos metales. Además, debido a la cantidad de metales pesados adsorbidos en los sedimentos y ligeros cambios en la temperatura o pH, podría promover la desorción de estos compuestos de los sedimentos a la columna de agua, afectando la microbiota, fauna y demás comunidades que dependen del agua del río.

**Palabras clave:** Metales pesados, *Nymphaea ampla*, adsorción-desorción, fitorremediación.

## Acerca de los autores...

<sup>1</sup>División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía S/N, Col. Del Bosque, C.P. 77019, Chetumal, Quintana Roo.

<sup>2</sup>División de Ingeniería Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico S/N, Valle de Anáhuac, C.P. 55210, Ecatepec de Morelos, Edo de México

<sup>3</sup>Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Avenida IPN 2508, San Pedro Zacatenco, México D. F. CP 07360.



## Introducción

Debido a los graves problemas de contaminación de ambientes marinos en todo el mundo, se hace imprescindible la protección de estos recursos. Muchos de los ecosistemas acuáticos se encuentran contaminados con sustancias tóxicas, como metales pesados, generalmente a consecuencia de las actividades antropogénicas, es decir como resultado de actividades necesarias para la supervivencia humana (Raymond and Okieimen, 2011). Este es el caso del Río Hondo ubicado en la provincia de Quintana Roo, México, en la zona de la frontera de México con Belice, donde se encuentra la Bahía de Chetumal, en la que desemboca este río (Figura 1). En la parte final del mismo, se encuentran ubicadas zonas urbanas, como la ciudad de Corozal y la de Chetumal, e ingenios azucareros que vierten sus desechos directamente al río. En general, es una zona agropecuaria donde se maneja una gran cantidad de productos fertilizantes y plaguicidas que constituyen las principales fuentes de contaminación, que impactan negativamente las aguas del río y de la zona de la bahía (González Bucio *et al.*, 2006). Los metales pesados constituyen una parte importante de esos contaminantes y se pueden acumular en los sedimentos y organismos que dependen directamente de estas aguas (Bolaños, 2006). Ese podría ser el caso de muchas especies vegetales que soportan el desarrollo de cierta fauna específica de la región, como el lirio acuático (*Nymphaea ampla*) típico de esta zona, que como otras especies de *Nymphaea* puede acumular altas cantidades de metales pesados (Mkumbo

*et al.*, 2012), característica que ha motivado el desarrollo de tecnologías de fitorremediación, con procesos a base de plantas utilizadas para la recuperación de aire, aguas y suelos contaminados con metales (Wuana y Okieimen, 2011).

En este trabajo se determinan los contenidos de Hg, Pb, Cd y Zn, metales comúnmente asociados a la actividad antropogénica (Gutiérrez Galindo *et al.*, 1991), en un tramo de la línea ubicado en la ribera del Río Hondo en Quintana Roo, el cual desemboca en la Bahía de Chetumal. Para ello se tomaron muestras de sedimento, agua y lirio acuático (*Nymphaea ampla*), con la finalidad de investigar si existe alguna relación entre el contenido de esos metales entre ambos medios, así como estudiar la influencia de la contaminación por derrames de derivados agroquímicos de la zona cañera de México y Belice hacia el Río Hondo.



Para evaluar el impacto del contenido de metales en sedimentos y suelos sobre la biodiversidad y población que depende de las aguas de ese río, no sólo se debe determinar el contenido total de los mismos, sino también su movilidad y biodisponibilidad. Con este objetivo, en la última década se han desarrollado y modificado diferentes procedimientos de extracción/lixiviación (Sahuquillo *et al.*, 2002; Sahuquillo *et al.*, 2003). Estos procedimientos tratan de simular los fenómenos de intercambios químicos que pueden ocurrir en los suelos y sedimentos (adsorción-desorción, disolución-precipitación, oxidación-reducción, formación de complejos), los cuales pueden modificar la concentración de metales en los sedimentos del suelo y en las plantas acuáticas que crecen en este río.

## Metodología

**Sitios de estudio.** Se utilizó un diseño de muestreo a lo largo de la ribera del Río Hondo como se reportó previamente (González Bucio *et al.*, 2006). Se seleccionaron cinco estaciones de muestreo (Figura 1): Álvaro Obregón (Sitio 1), que recibe las aguas residuales de un ingenio azucarero; los poblados de el Palmar, Sactan y Juan Sarabia (sitios 2, 3 y 4, respectivamente) los cuales pertenecen a una zona de balnearios y comunidades que dependen de las aguas de ese río, y el Puente de Subteniente López (Sitio 5), poblado fronterizo con Belice que recibe las aguas residuales de los casinos y demás negocios de la zona libre.

**Muestreo.** Se tomaron muestras de agua, sedimentos y plantas de lirio acuático en temporadas de seca (1) y de lluvia (2) durante el año 2011. Las muestras se almacenaron en frascos y se conservaron a 4° C hasta el momento de su análisis.

**Análisis de metales pesados.** Se determinaron los niveles de Hg, Pb, Cd y Zn utilizando un espectrofotómetro (Varian SpectrAA 220), con Generador de Hidruros y un Horno de Grafito (Perkin Elmer), como se reportó previamente para el contenido de metales pesados en peces (Carrión-Jiménez *et al.*, 2011) y sedimentos (González Bucio *et al.*, 2011) del Río Hondo de Chetumal.



**Figura 1**

Estaciones de muestreo de agua, plantas y sedimentos (señales amarillas) en la ribera del Río Hondo de Quintana Roo. El sitio de muestreo número uno (Álvaro Obregón) recibe las aguas residuales de un ingenio azucarero. (2) Palmar, (3) Sacxan, (4) Juan Sarabia y (5) Puente de Subteniente López.



**Parámetros fisicoquímicos.** Los análisis fisicoquímicos complementarios se determinaron *in situ* con equipos portátiles para Oxígeno Disuelto (OD), pH, Temperatura, Salinidad y Conductividad.

## Resultados y Discusión

El contenido de metales pesados en las plantas y sedimentos colectados en las diferentes estaciones de muestreo revelaron que tanto en temporada de seca como de lluvia los metales más abundantes fueron el plomo y el mercurio (Figura 2). El contenido de estos metales tanto en plantas como en los sedimentos varió de acuerdo al sitio de muestreo y temporada del año, pero pueden tomar valores de entre 0.5 hasta 5 ppm, mientras que el contenido de zinc y cadmio generalmente no superan 1.5 y 0.5 ppm respectivamente. Cabe referir que las plantas acumulan principalmente mercurio y un poco de plomo y zinc, manteniendo cantidades basales de cadmio.

Resulta interesante, que con excepción del zinc, el nivel de contenido para cada metal en los sedimentos fue similar a lo largo del río en temporada de seca (Figura 2A). Sin embargo, en temporada de lluvia (Figura 2B) se observó una disminución gradual conforme los sitios de muestreo se acercan a la desembocadura del río (Sitio 5). Esta tendencia fue particularmente clara para el mercurio y zinc, pero con una notable diferencia para el plomo en el Sitio 4. Este comportamiento claramente sugiere que el Sitio 1 que recibe las aguas del ingenio, siendo la fuente principal de mercurio y plomo, pero la comunidad de Juan Sarabia podría ser una fuente importante de plomo, lo que sólo se puede apreciar cuando el caudal del río tiene la fluidez y rapidez suficiente para reducir la sedimentación de los compuestos que vienen de largas distancias, como parece ser el caso del zinc, que se acumula a lo largo del río en tiempo de secas pero mantiene cantidades estables en época de lluvia.

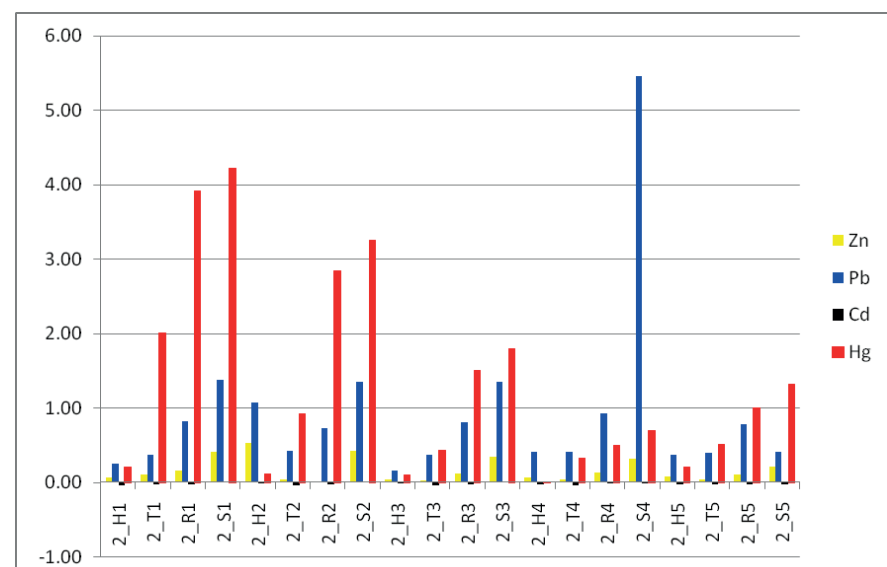
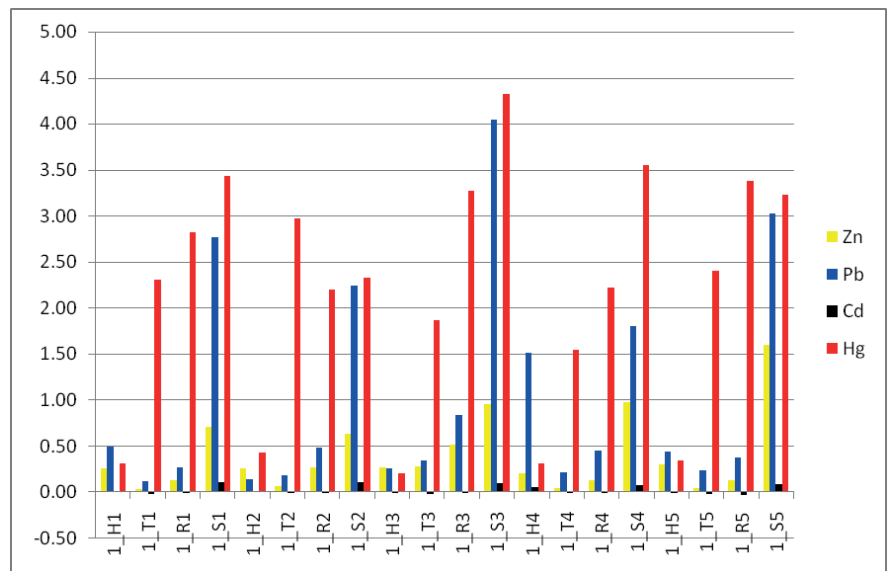
Por otro lado, la distribución de los metales pesados en hojas (H), tallos (T), y raíces (R) de plantas de *Nymphaea ampla* colectadas en época de seca (1) y de lluvia (2) contra los sedimentos correspondientes en cada estación de muestreo, demuestran que el contenido en plantas, de manera similar a lo observado con los sedimentos, fue generalmente más alto en la temporada de seca (Figura 2A) que de lluvia (Figura 2B). Como se mencionó arriba, las plantas acumulan cantidades importantes de mercurio, principalmente en el

tallo y raíz, y en menor proporción plomo y zinc. Sin embargo, la distribución entre una planta completa (la suma del contenido en cada órgano) y los sedimentos correspondientes fue característica para cada metal.

Nótese que la acumulación total de plomo y mercurio por cada planta, en la mayoría de casos, superó a las cantidades presentes en los sedimentos de los sitios correspondientes. Por ejemplo, en la temporada de seca se observó un mayor contenido de mercurio en las muestras T1, R1, S1, T2, R2, S2, T3, S3, R4, S4, T5, R5 y S5, que en su mayoría son muestras de tallo y raíz, pero todos los sedimentos (S1, S2, S3, S4 y S5) presentaron similares cantidades de mercurio y plomo. En contraste, en temporada de lluvia, las concentraciones de mercurio y plomo fueron menores que en la temporada de seca. Por ejemplo, en esta época se detectaron cantidades importantes de Hg en los puntos T1, R1, R2, S2, R3, S3, S4, y S5, pero solamente los sedimentos de los sitios S2 y S4 presentaron valores de mercurio y plomo, respectivamente, por encima de lo permitido. Estos datos demuestran que *Nymphaea ampla* es una planta altamente acumuladora de mercurio y en menor grado de plomo y zinc, por lo que resulta ser una especie potencialmente adecuada para procesos de fitorremediación de aguas con alto contenido de estos metales.

**Figura 2**

Contenido de metales pesados (ppm) en tejido seco de hoja (H), tallo (T) y raíz (R) de plantas de *Nymphaea ampla*, y sedimento seco (S) en muestras tomadas de cinco sitios (1-5) del Río Hondo de Quintana Roo, en temporada de seca (A) y de lluvia (B) en el año 2011.





La evaluación de los parámetros fisicoquímicos (Tabla 1) y los resultados anteriores sobre la variación y tendencia del contenido de metales pesados, indican que cambios de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y pH, en los puntos de muestreo podría promover la biodesorción y movilidad de los metales (biodesorción), debido a que cualquier cambio medioambiental, principalmente T° y pH, podría liberar de los sedimentos las estructuras metálicas hacia la columna de agua y así llegar a bioacumularse en la flora vegetal y/o microbiota dependiente de las aguas de ese río. Para analizar esta posibilidad, se estimó la correlación entre los componentes principales para el contenido de metales pesados y los parámetros fisicoquímicos (Figura 3). Los resultados demostraron que los sitios de mayor contaminación se encuentran en las zonas de muestreo 1, 3 y 5 (Álvaro Obregón, Sacxán y Subteniente López), confirmando que los niveles más elevados fueron los de plomo y mercurio. Asimismo, se

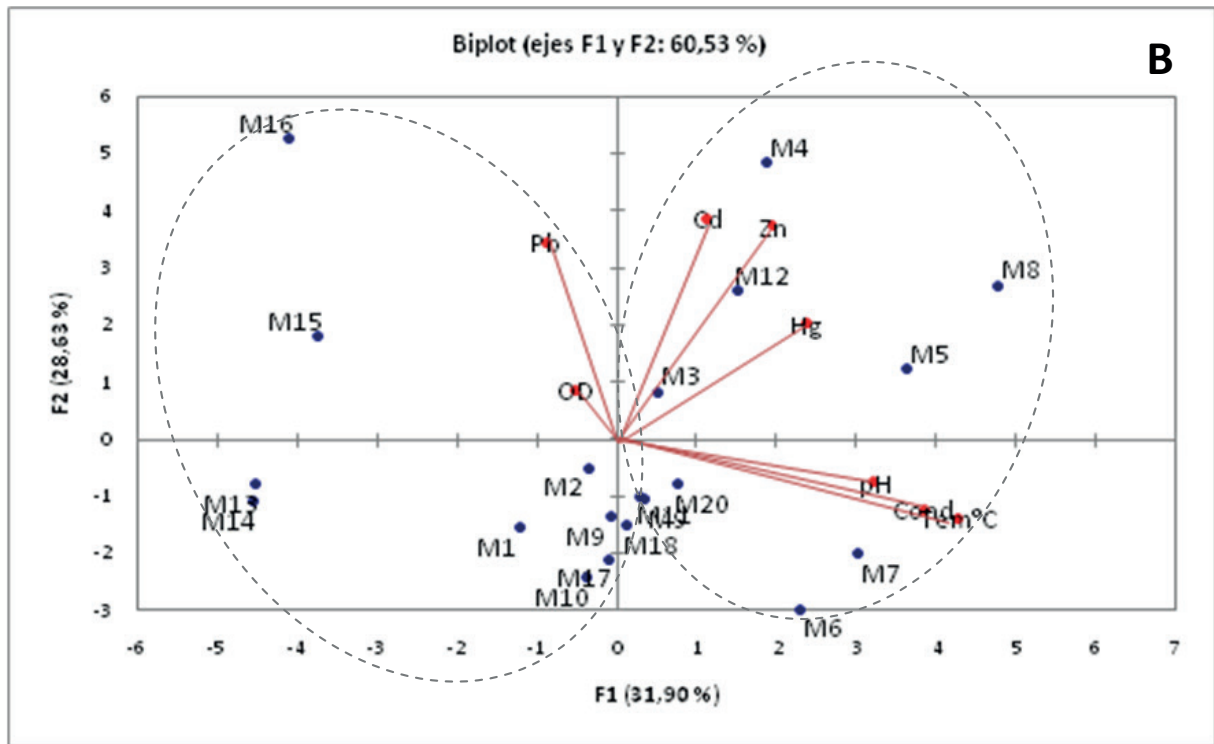
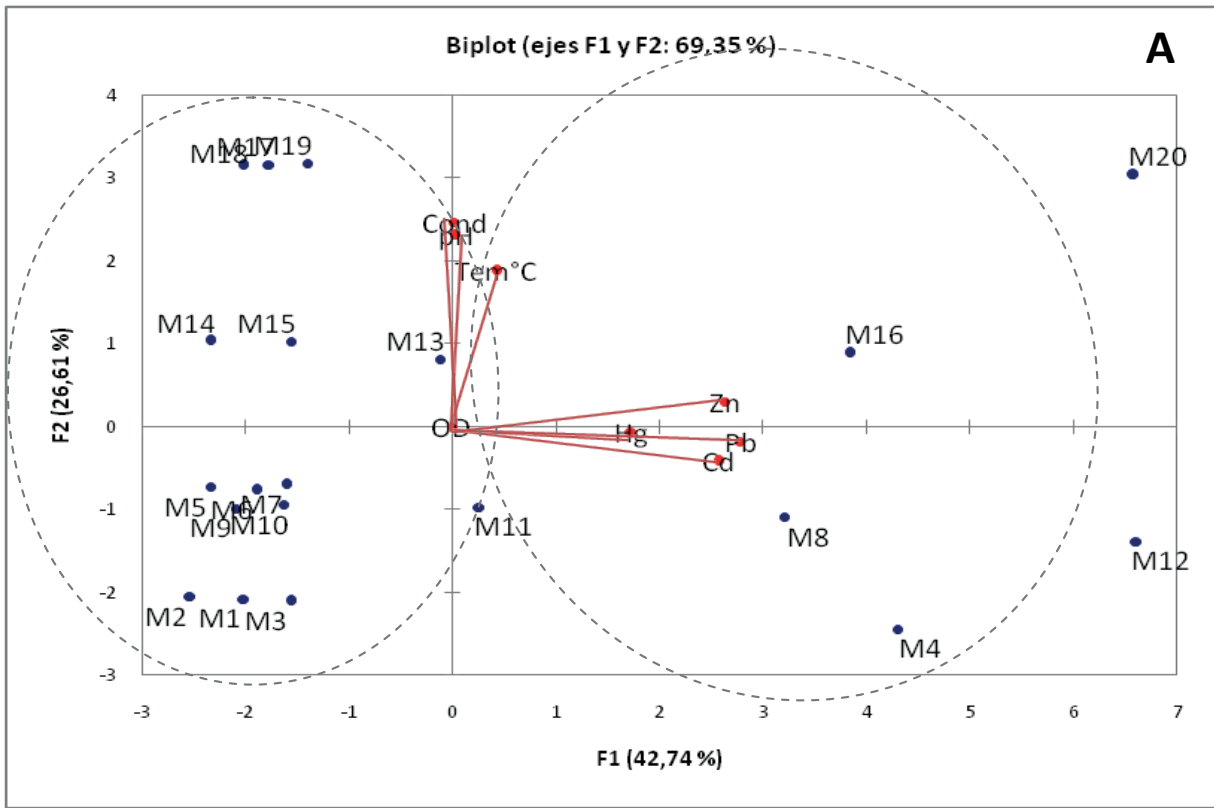
encontró que hay correlación directa significativa entre el pH y la temperatura que afecta el contenido de metales (Tabla 2).

Parámetro	Punto de Muestreo									
	Álvaro Obregón		Palmar		Sacxán		Juan Sarabia		Puente Sbte. López	
Muestreo	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Temperatura (°C)	23	24	23	25	25	24	25	23	25	24.5
Oxígeno disuelto (mg/L)		4.4		0.8		1.5		1.5		1.6
pH	6.7	6.2	6.6	6.1	6.5	6.2	6.7	5.8	7.05	6.04
Conductividad	1.4	1.2	1.7	5.4	1.5	2.5	1.7	0.7	1.8	3

**Tabla 1**

Parámetros fisicoquímicos de los sitios de muestreo en época de seca (M1) y de lluvia (M2).





**Figura 3**

Análisis de Componentes Principales de metales pesados y parámetros fisicoquímicos en temporada de seca (A) y lluvia (B) del año 2011.

Época de seca								
Variables	Zn	Pb	Cd	Hg	Temp°C	OD	pH	Cond
Zn	1							
Pb	0,841	1						
Cd	0,789	0,919	1					
Hg	0,459	0,519	0,301	1				
Temperatura (°C)	0,199	0,127	-0,046	0,048	1			
Oxígeno disuelto (mg/L)								
pH	0,085	-0,043	-0,082	0,026	0,264		1	
Conductividad	0,079	-0,049	-0,054	-0,050	0,389		0,580	1
Época de lluvia								
Variables	Zn	Pb	Cd	Hg	Tem °C	OD	pH	Cond
Zn	1							
Pb	0,493	1						
Cd	0,757	0,410	1					
Hg	0,362	0,106	0,349	1				
Temperatura (°C)	0,168	-0,303	-0,045	0,265	1			
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,004	-0,092	-0,036	0,419	-0,212	1		
pH	0,090	-0,351	-0,022	0,425	0,585	0,387	1	
Conductividad	0,191	-0,174	0,017	0,103	0,900	-0,570	0,321	1

**Tabla 2**

Correlaciones lineales de metales pesados y parámetros fisicoquímicos en temporada de seca y lluvia.





## Conclusiones

Con los resultados de los parámetros fisicoquímicos ( $T^{\circ}$  y pH) y los metales pesados Hg y Pb en los puntos de muestreo anteriormente señalados, podemos concluir que podría existir una movilidad de los metales (biodisposición), debido a que cualquier cambio medioambiental principalmente  $T^{\circ}$  y pH podría liberar las estructuras metálicas a la columna de agua y así poder bioacumularse en los sedimentos y/o en la biota. Cuando existe una bioacumulación de elementos metálicos en sedimentos, microorganismos o plantas, sus cantidades suelen concentrarse y biomagnificar sus efectos, cuando entran a la cadena trófica de algún ciclo biológico.



## Referencias

- Bolaños, F., (1990). *El impacto biológico problema ambiental contemporáneo*. Editorial Colección Postgrado 7, México. 210 p.
- González-Bucio, José Luis; Díaz López, Cristina; Carrión Jiménez, José Manuel, (2006). "Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México". *Rev. Soc. Quím. Perú*. 72 (1): 19-31. ISSN 1810-634X.
- González-Bucio, José Luis; Deveze-Arcos, Ramiro; Carrión-Jiménez, José Manuel; Díaz-López, Cristina; Calva-Calva, Graciano; Delgado-Blas, Víctor Hugo; Ávila-Reveles, Juan Carlos, (2011). "Contenidos de Cu, Cd, Zn, Pb, Hg y Fe en Jaiba azul (*Callinectes sapidus*), sedimentos y agua de la Bahía de Chetumal". *Tecnocultura* 10 (25): 22-27. ISSN 1870-7157.
- Gutiérrez-Galindo, E., Muñoz, G. F., García, R. P., Villaescusa, J.A., González, J.A. (1991) Metales pesados en tejido y en biodepositos sedimentarios del ostión *Crassostrea gigas* de la zona de cultivo de bahía San Quintín, Baja California, México. Vol. 6, N° 1.
- Carrión Jiménez, José Manuel; González Bucio, José Luis; Calva Calva, Graciano; Flores Castillo, Patricia; Bucio, Eduardo González; Guevara Franco, José Luis; Ávila Reveles, Juan Carlos; Delgado Blas, Víctor Hugo, (2011). Efecto de la contaminación por mercurio y plomo en peces comestibles. *Tecnocultura* 10 (25): 29-36. ISSN 1870-7157.
- Mkumbo, S., Mwegoha, W., Renman, G., (2012) Assessment of the phytoremediation potential for Pb, Zn and Cu of indigenous plants growing in a gold mining area in Tanzania. *International Journal of Environmental Sciences*. 2(4): 2425-2434. doi: 10.6088/ijes.00202030123
- Lutts, S. et al., (2004). Heavy metal accumulation by the halophytic species Mediterranean Saltbush. *J. Environ. Qual.* 33: 1271-1279
- Norma (ISO-11047, 1998) Soil quality - Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc - Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods.
- Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 22 de febrero de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 29 de septiembre de 1981.
- Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 26 de abril de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 3 de marzo de 1982.
- Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 12 de julio de 1982.
- Raymond, A. W., Okieimen, F. E., (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*, Vol. 2011, Article ID 402647, 20 pages. doi:10.5402/2011/402647
- Sahuquillo, A., Rigor, A., Rauret, G., (2002). Comparison of leaching test for the study of trace metals remobilisation in soils and sediments. *J. Environ. Monit., Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 22, N° 3.
- Sahuquillo, A., Rigor, A., Rauret, G., (2003). Overview of the use of leaching/ extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments., *Monit., Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 22, N° 3.
- Wuana R. A., Okieimen F. E., (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Network. ISRN Ecology*, Vol. 2011, Article ID 402647, 20 pages. doi:10.5402/2011/402647.