

METALES PESADOS EN EL OSTIÓN *Crassostrea virginica* DE LA LAGUNA MECOACÁN, TABASCO, MÉXICO

[HEAVY METALS IN THE *Crassostrea virginica* OYSTER FROM MECOACAN LAGOON, TABASCO, MEXICO]

Tainar Judith Álvarez Díaz¹, Nancy Patricia Brito-Manzano^{1§}, Perla Montserrat Vargas-Falcón¹, Armando Gómez-Vázquez¹

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa, km 25, R/A. La Huasteca 2ª Sección, CP 86280, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. 9933581585, Ext. 1429151, Fax: 9931429150. §Autor para correspondencia: (Nancy.brito@ujat.mx).

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el contenido de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* en organismos provenientes de la Laguna Mecoacán en Tabasco, México. Para ello, 50 ostiones fueron colectados mensualmente de junio a diciembre de 2019 en tres bancos ostrícolas por medio de buceo autónomo. Las concentraciones de Cromo, Zinc, Cobre, Cadmio y Plomo fueron analizadas por cuadruplicado por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Para los tres bancos, los metales que presentaron las mayores concentraciones promedio fueron el Cu y el Zn: para Pajalar el Cu ($171.00 \mu\text{g g}^{-1}$) y Zn ($542.46 \mu\text{g g}^{-1}$), para Puente de Ostión, Cu ($163.60 \mu\text{g g}^{-1}$) y el Zn ($426.62 \mu\text{g g}^{-1}$), mientras que para Limoncito se registraron valores de Cu de $93.75 \mu\text{g g}^{-1}$ y de Zinc de $329.89 \mu\text{g g}^{-1}$. Con respecto al contenido de Plomo y Cromo en los tres bancos muestreados, el mayor contenido se registró en el banco Pajalar con $9.95 \mu\text{g g}^{-1}$ y $7.90 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. El contenido de Cadmio para los tres bancos, fue: Pajalar > Puente de ostión > Limoncito. El contenido de Plomo fue superior a los límites permisibles (NOM-001-ECOL-1996 y NOM-027-SSA1-1993).

Palabras clave: Contaminación, molusco, salud humana.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the content of heavy metals in the *Crassostrea virginica* oyster in organisms from Laguna Mecoacán in Tabasco, Mexico. 50 oysters were collected monthly from June to December 2019 in three oyster beds by free diving. The concentrations of Chromium, Zinc, Copper, Cadmium and Lead were determinate using Atomic Absorption Spectrophotometry. For the three banks, the metals that presented the highest average concentrations were Cu and Zn: for Pajalar, Cu ($171.00 \mu\text{g g}^{-1}$) and Zn ($542.46 \mu\text{g g}^{-1}$), for Puente de Ostión, Cu ($163.60 \mu\text{g g}^{-1}$) and Zn ($426.62 \mu\text{g g}^{-1}$), while for Limoncito, Cu values of $93.75 \mu\text{g g}^{-1}$ and Zinc of $329.89 \mu\text{g g}^{-1}$ were recorded. Regarding the Lead and Chromium content in the three sampled banks, the highest content was registered in the Pajalar bank with $9.95 \mu\text{g g}^{-1}$ and $7.90 \mu\text{g g}^{-1}$, respectively. The Cadmium content for the three banks was: Pajalar > Puente de Ostión > Limoncito. Lead content was higher than the permissible limits (NOM-001-ECOL-1996 and NOM-027-SSA1-1993).

Index words: Human health, mollusk, pollution.

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es considerado como uno de los cuerpos de agua (zonas estuarinas) más productivos e importantes del mundo a nivel ecológico y económico; conocido también, como el Mar de América o el Mediterráneo americano debido a su importancia y riqueza (Toledo, 2015). Este Gran Ecosistema Marino (GEM) (Rivera y Borges, 2016) posee con un porcentaje mayor a 50 de litorales bordeados por 27 grandes sistemas, estuarios, lagunas costeras y bahías. Estos ecosistemas poseen una gran importancia ecológica y económica; pues sirven como áreas de refugio, alimentación y reproducción de numerosas especies de gran importancia para la pesca ribereña (Toledo, 2015; Rivera y Borges, 2016).

Desde hace algunos años, entre los principales problemas a los que se encuentran sometidas las lagunas costeras y estuarios de México, figuran la presión ejercida por el hombre (Ponce y Botello, 1991); debido al uso incontrolado de agroquímicos en tierras aledañas; la alteración causada por la tala de la vegetación natural circundante; además de la modificación de su circulación interior por el dragado incorrecto (Contreras *et al.*, 2012), o el desvío de los cauces naturales de los ríos (Villanueva y Botello, 2005; Contreras *et al.*, 2012) y cierre de las comunicaciones entre lagunas. Así como la desecación de pantanos para fines agrícolas y ganaderos; el vertimiento de agua sin tratar de las poblaciones ribereñas (Navarrete-Rodríguez *et al.*, 2013; Contreras, 2016) y el depósito directo o indirecto de desechos urbanos e industriales, que contribuyen a su deterioro ecológico (Ponce y Botello, 1991; Salazar y Salazar, 1991; Villanueva y Botello, 1992).

Los moluscos bivalvos constituyen un amplio grupo de organismos, en términos de biomasa o como organismos filtradores en muchos ecosistemas, son organismos sésiles, bentónicos y consumidores primarios. Los estudios con bivalvos se han utilizado ampliamente en la detección de sustancias contaminantes, estudios experimentales, fisiológicos, bioquímicos, genéticos e investigaciones toxicológicas (Salazar y Salazar, 1991). El uso de estos organismos como “biomonitores” de contaminación se deriva de los siguientes atributos: son sedentarios, con rutas de exposición variables y de relativa tolerancia, sin embargo, también son capaces de cerrar sus valvas en condiciones no favorables y su potencial de biotransformación es claramente menor que en otros grupos (vertebrados) por lo que han sido seleccionados como organismos centinelas para el estudio de la contaminación (Farris y Van Hassel, 2017). El género *Crassostrea* ha sido ampliamente utilizado en la evaluación de la contaminación en diferentes ecosistemas (Rebelo *et al.*, 2013). Algunos estudios sugieren que la bioacumulación de metales en ostión muestra una cinética monocompartmental de primer orden, lo cual puede sugerir un proceso homogéneo de distribución de contaminante.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la concentración de metales pesados (Cu, Zn, Pb, Cd y Cr) en el ostión *Crassostrea virginica* en tres bancos ostrícolas de una de las principales lagunas costeras del estado de Tabasco y verificar si dichos contenidos cumplen con los límites permisibles de las Normas Oficiales Mexicanas.

temperatura ambiente y luego las muestras fueron transferidas a matraces aforados de 25 ml lavándolas con agua desionizada para posteriormente aforar a 25 ml. Las muestras de los matraces aforados fueron homogeneizadas y después transferidas a frascos ámbar de vidrio previamente rotulado. Finalmente, se colocó parafilm Millipore® en la boca de los frascos ámbar y fueron conservados en refrigeración a 4 °C aproximadamente, hasta su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (Loring, 1976; Agemian y Chau, 2016).

Adicionalmente, fue realizada la optimización de especificaciones instrumentales como; flujo de aire, gas de acetileno, longitud de onda de la lámpara para cada metal y altura de quemador. Pasado el tiempo de estabilización se procedió a introducir los estándares certificados, los cuales se elaboran a concentraciones conocidas con el fin de obtener las curvas de calibración. En este proceso, por cada cinco muestras se analizó un blanco reactivo y cuatro repeticiones. Para la lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica se utilizaron estándares certificados marca High Purity Standards, para realizar la curva de calibración a cada uno de los metales analizados.

Análisis estadístico

Un análisis de varianza (ANOVA) fue usado para determinar si las concentraciones promedio de metales pesados durante los meses seleccionados fueron diferentes significativamente. La prueba de Cochran's fue usada para probar la homogeneidad de las varianzas; *A posteriori* fue realizada la prueba de comparaciones múltiples de *Tukey* para determinar la diferencia significativa de los datos. El programa estadístico STATISTICA fue empleado para los análisis estadísticos. El nivel de significancia empleado fue $P < 0.05$ (Prieto y Herranz, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta el contenido de Cu, Cr, Zn, Cd y Pb encontrados en el ostión proveniente de los tres bancos seleccionados durante los meses de estudio. Se puede apreciar que el Zinc fue el metal que mayor contenido presentó en todos los bancos, seguido por Cobre, Plomo, Cadmio y Cromo. Para Puente de Ostión, el Zn y el Cu son los metales que se encontraron en mayores concentraciones (426.62 y $163.60 \mu\text{g g}^{-1}$ en promedio, respectivamente) y fueron significativamente diferentes del Cd, Cr y Pb ($P < 0.01$). Para Pajaral, se observa que el orden del contenido de metales en este banco fue $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Cr}$.

Cuadro 1. Contenido de Cd, Cu, Cr, Zn y Pb en el ostión *Crassostrea virginica* proveniente de tres bancos ostrícolas de la laguna Mecocacán, Tabasco.

Bancos ostrícolas	Metales Pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$)				
	Cd	Cu	Cr	Zn	Pb
Puente de Ostión	8.13 ± 1.22	163.60 ± 1.32	7.70 ± 1.51	426.62 ± 1.30	7.39 ± 1.11
Pajaral	8.77 ± 1.18	171.00 ± 1.44	7.94 ± 1.25	542.46 ± 1.26	9.95 ± 1.29
Limoncito	7.69 ± 1.02	93.75 ± 2.28	6.66 ± 1.37	329.89 ± 2.53	9.67 ± 1.10

Al realizar la comparación del contenido de metales pesados entre bancos ostrícolas, se encontró que de manera general Pajaral presentó las mayores concentraciones de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn, y que

fueron significativamente diferentes del contenido encontrado en Puente de Ostión y Limoncito ($P < 0.01$) (Figura 2).



Figura 2. Comparación del contenido de Cd, Cr, Cu, Zn y Pb en el ostión *Crassostrea virginica* proveniente de tres bancos ostrícolas de la laguna Mecoacán, Tabasco.

La identificación de fuentes puntuales de contaminación en la laguna, es de diversa índole, desde vertimientos municipales, basureros a cielo abierto, descarga directa de heces proveniente de animales de corral, como la cría de cerdos y aves en las inmediaciones; además de la descarga de desechos provenientes de las envasadoras o cooperativas pesqueras. Además de la influencia del aporte de metales pesados durante la época de lluvias debido a su acarreo de zonas de cultivo de caña, piña, tamarindo y sandía donde se emplean fertilizantes (Navarro y Sabater, 2004).

El contenido de metales a través de los meses analizados, se observa una ligera tendencia a la baja de enero a junio, sin embargo, en el mes de junio se aprecia un pequeño incremento en el contenido de los cinco metales analizados en los bancos de Puente de Ostión y Pajalar, mientras que, para el banco de Limoncito, el Cu, Cr, Pb y Cd presentaron un comportamiento similar pero el Zn tuvo oscilaciones marcadas en los meses de enero, febrero (mayor contenido) y abril. (Figura 3). Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas del contenido de metales a través de los meses.

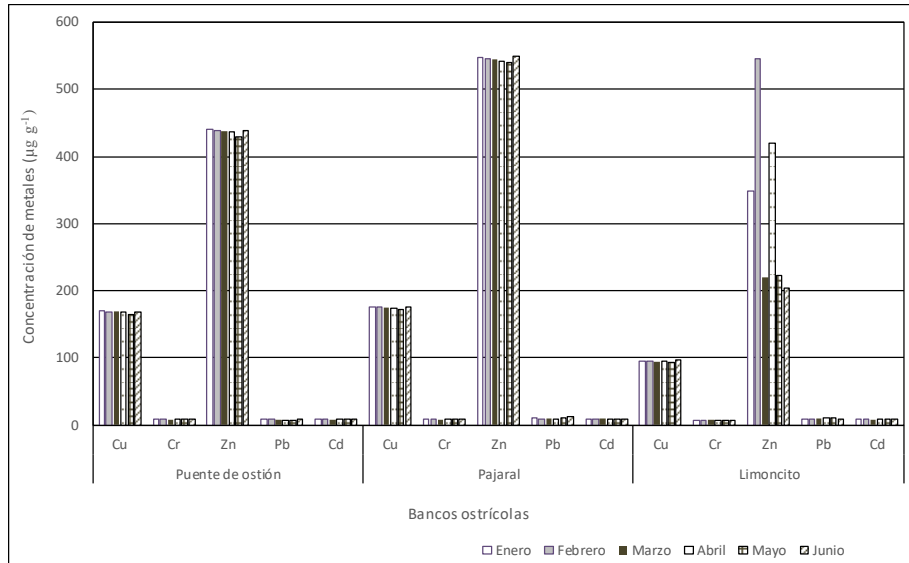


Figura 3. Contenido de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn en el ostión *Crassostrea virginica* en tres bancos ostrícolas de la laguna de Mecoacán durante un período de seis meses.

Se detectó la presencia de los cinco metales en los tres bancos ostrícolas seleccionados. De los estudios realizados sobre contenido de metales pesados, la mayoría se han realizado en la región del Pacífico y los que se han llevado a cabo en el Golfo de México con el ostión *Crassostrea virginica*, han sido realizados en lagunas del estado de Veracruz y Campeche. Los estudios más recientes con *C. virginica* en lagunas costeras del estado de Tabasco, son los de Navarrete-Rodríguez *et al.* (2013), quienes registraron un valor de Plomo de $1 \mu\text{g g}^{-1}$, en el complejo lagunar Carmen-Machona-Pajonal, el cual es muy inferior al que se encontró en el presente trabajo; Brito-Manzano *et al.* (2018) y Miramontes-Flores *et al.* (2019), reportan concentraciones de Pb en ostión de 9.34 y $9.50 \mu\text{g g}^{-1}$, en las lagunas Mecoacán y Machona, respectivamente, valores ligeramente superiores a los registrados en este trabajo ($9.0 \mu\text{g g}^{-1}$) y que también son superiores, al límite máximo permisible por la Norma Oficial Mexicana ($1 \mu\text{g g}^{-1}$, por la FDA ($1.7 \mu\text{g g}^{-1}$)(Estados Unidos) y por el Codex Alimentarius ($3 \mu\text{g g}^{-1}$)(Comunidad Económica Europea, CEE), en los tres bancos seleccionados.

Villanueva y Botello (2005); confirman que el Plomo es de los elementos más dañinos para un ecosistema acuático y que éste, suele bioacumularse en los tejidos de los organismos expuestos. Los efectos sobre la salud de los moluscos se han presentado aun cuando estos están expuestos a concentraciones mínimas (Aguilar *et al.*, 2017).

Con respecto a la concentración de Zinc en tejido de ostión, no existen límites permisibles registrados que nos pueda servir como referencia, sin embargo, las concentraciones encontradas en este estudio son superiores a las reportadas por diferentes autores en las lagunas de Veracruz para la misma especie. Guzmán *et al.* (2005), reportan valores para la laguna Tamiahua de $154.16 \mu\text{g g}^{-1}$, los cuales son inferiores a los reportados en el presente trabajo; mientras que Vázquez-Sauceda *et al.* (2005) reportan valores de $1061.36 \mu\text{g g}^{-1}$, en la laguna Alvarado, Veracruz y que son superiores a los registrados en este estudio (promedio de $432.99 \mu\text{g g}^{-1}$).

Con respecto al Cromo, son muy pocos los trabajos reportados, Guzmán *et al.* (2005) y Guzmán-García *et al.* (2016) reportan valores de este metal, de $33.66 \mu\text{g g}^{-1}$ y $6.43 \mu\text{g g}^{-1}$, en las lagunas de Tamiahua y Mandinga, Veracruz, respectivamente; por su parte, Brito-Manzano *et al.* (2018), registraron valores de $9.32 \mu\text{g g}^{-1}$ en la laguna Machona, Tabasco, superiores a los encontrados en esta investigación.

Aunque el Cadmio es un metal no indispensable en el metabolismo de los seres vivos y su presencia en el medio costero está directamente relacionada a los lavados de suelos agrícolas, desechos municipales y lodos de plantas de tratamiento (González *et al.*, 2016), en el medio marino queda biodisponible para las diferentes formas de vida y puede conducir a un problema de contaminación, de esta forma los niveles de Cd reflejan la presencia de contaminantes en las zonas donde se capturan los ostiones y que pueden estar expuestas a las descargas de aguas residuales. Los hábitos alimenticios y el medio en donde se desarrolla este molusco lo hacen susceptible de estar expuesto a la contaminación (Aguilar-Ucán *et al.*, 2017).

Elementos como el Pb y el Cd, son totalmente ajenos a los seres vivos y su presencia indica la exposición de los organismos a fuentes de contaminación antropogénica. Las concentraciones de Cobre encontradas en el presente estudio son inferiores a las reportadas para *C. virginica* por Guzmán *et al.*, (2005), quienes reportan valores de $278.00 \mu\text{g g}^{-1}$, $165.75 \mu\text{g g}^{-1}$ y $202.43 \mu\text{g g}^{-1}$, para las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua, en Veracruz. Aguilar *et al.* (2017), reportan altos niveles de Cu ($231 \mu\text{g g}^{-1}$) en ostiones de la Laguna de Términos, Campeche, Navarrete-Rodríguez *et al.* (2013) reportan valores de $259.12 \mu\text{g g}^{-1}$ en el sistema lagunar Carmen-Machona-Pajonal, que son en general superiores a los del presente trabajo (93.75 a $171 \mu\text{g g}^{-1}$). 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 (Bonilla *et al.*, 2016).

Los hábitos alimenticios del ostión (bivalvo filtrador), su capacidad para sobrevivir en la zona intermareal donde están sujetos a frecuentes periodos de desecación, resistencia a los cambios de salinidad, temperatura y capacidad para soportar fuertes cargas de sedimentos (Almeida *et al.*, 2013); así como su tolerancia y adaptabilidad, los han situado como los organismos preferidos en el biomonitoreo de la presencia de contaminantes en zonas costeras como lo reporta Aguilar *et al.*, (2017).

La intoxicación aguda por metales pesados, se presenta acompañada de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas, problemas cardíacos, convulsión e incluso coma. En tanto que la intoxicación crónica puede involucrar neuropatías, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteraciones del comportamiento, alteraciones renales, glucosuria, nefritis crónica, encefalopatía, irritabilidad, temblor, alucinaciones con pérdida de memoria, cólicos, alteraciones hepáticas, entre otros. (Ferrer, 2003; Londoño-Franco *et al.*, 2016).

El deterioro de las pesquerías del ostión *C. virginica*, debidas principalmente a la contaminación ambiental, antropogénica y a la presencia de diversos metales pesados, ocasiona daños a la economía y a la salud de pobladores ribereños dedicados a la producción y captura de este recurso pesquero, cuya distribución y consumo es a nivel estatal y nacional. Esto resulta como consecuencia de la falta de programas de vigilancia de la contaminación, así como un control

efectivo de la calidad sanitaria, pero sobre todo debido a la carencia de normas mexicanas que regulen las concentraciones permisibles de absolutamente todos los metales en agua, sedimentos y organismos y que no regulen solamente la de unos cuantos metales.

CONCLUSIONES

Los niveles de metales pesados registrados en *Crassostrea virginica* superan los límites permisibles establecidos por la NOM-031SSA1-1993 y por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos), por lo que se considera un riesgo para la salud humana.

La contaminación causada por metales pesados en la laguna de Mecoacán, puede ser atribuida al cauce de los ríos, nuevos asentamientos poblacionales y/o a la ausencia de programas efectivos de vigilancia y control de una eficaz aplicación de normas ambientales.

LITERATURA CITADA

- Agemian, H. and A.S.Y. Chau. 2016. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst* 101 (1207): 761-767. <https://doi.org/10.1039/AN9760100761>
- Aguilar, C.A., C. Montalvo-Romero, L.A. Rodríguez Gil, J.G. Ceron-Bretón and R.M. Ceron. 2017. American oyster (*Crassostrea virginica*) and sediments as a coastal zone pollution monitor by heavy metals. *International Journal Environmental Science Technology* 9:579–586. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0078-y>
- Aguilar-Ucán, C., C. Montalvo-Romero, J.G. Cerón-Bretón y F. Anguebes-Fransesch. 2016. Niveles de Metales pesados en especies marinas: Ostión (*Crassostrea virginica*), Jaiba (*Callinectes sapidus*) y Camarón (*Litopenaeus setiferus*), de Ciudad del Carmen, Campeche, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 10 (1): 9-17. DOI:10.1007/s13762-012-0078-y
- Almeida, E.A., A C. Bainy, M.H. Medeiros and P. Di-Masio. 2013. Effects of trace metal and exposure to air on serotonin and dopamine levels in tissues of the mussel *Perna perna*. *Marine Pollution Bulletin* 46: 1485-1490. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00256-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00256-X).
- Bonilla, S, J., C. Ramírez, J. Moya. y A. Márquez. 2016. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo. Estado Sucre - Venezuela. *Boletín. Institucional de Oceanografía de Venezuela*. 42 (1 y 2): 3–27.
- Brito-Manzano, N., P. Vargas-Falcón, J. Miramontes-Flores, E. De la cruz-Lázaro y A. Gómez-Vázquez. 2018. Determinación de cadmio y plomo en sedimento y en el ostión *Crassostrea virginica* en tres bancos ostrícolas de la laguna Mecoacán en Tabasco, México. *In: J. Mendoza Palacios, I. Gallegos Morales, L. Hernández Hernández, P. Medina Pérez y C. Corzo Sosa. (eds.). Temas Selectos de Ciencias Agropecuarias. UJAT, Tabasco, México. pp. 72-83.*
- Contreras, E.F. 2016. Lagunas costeras de Veracruz. *In: C.P. Moreno, E. Peresbarbosa y B.A. Travieso. (eds.). 2006. Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal. Instituto de Ecología A.C. - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT. Xalapa, Veracruz, México. pp. 205-227.*
- Contreras. F, L O. Castañeda, M.E. Barba y H.M.A. Pérez. 2012. Caracterización e importancia de las lagunas costeras. *In: INPI U. Veracruzana (eds.) La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo. CRIP/INP/SACARPA/ U. Veracruzana, México, pp: 31-43.*

- Diario Oficial de la Federación. 1996. Norma Oficial Mexicana Bienes y Servicios NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. 29 de enero de 1997.
- Farris, L.J. and H. J. Van Hassel. 2017. *Freshwater Bivalve Ecotoxicology*. CRC Press, New York, USA. 375 p.
- Ferrer, A. 2003. Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 26(1): 141-153.
- González M.C., L. Méndez, D. López y A.V. Botello. 2016. Evaluación de la contaminación en sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz Oaxaca, México. *Interciencia* 31: 647-656.
- Guzmán Amaya, P., F.S. Villanueva y V.A. Botello. 2005. Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. *In: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz-Hernández (eds.) Golfo de México contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª. Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Nacional de México, Instituto Nacional de Ecología. México. pp. 361-372.
- Guzmán-García, X., A.V. Botello, L. Martínez-Tabche and H. González-Márquez. 2016. Effects of heavy metals on the oyster (*Crassostrea virginica*) at Mandinga Lagoon, Veracruz, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 57 (4): 955-962.
- Londoño-Franco, L.F., P.T. Londoño-Muñoz y F.G. Muñoz-García. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14 (2): 145-153.
- Loring, D.H. 1976. Geochemistry of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal Earth Science* 16: 1196-1209.
- Miramontes-Flores, J., N. P. Brito-Manzano, P. Vargas-Falcón, A. Gómez-Vázquez y D. Aldana-Aranda. 2019. Determinación de Cobre, Cromo y Plomo en el ostión *Crassostrea virginica* en tres bancos ostrícolas de la laguna Machona en Tabasco, México. *In: M.A. Perera García, I. Gallegos Morales, A. Chay Canul, J. Mendoza Palacios, N. Ojeda Robertos y R. Cantú Garza. (eds). Biotecnología en Ciencias Agropecuarias*. UJAT, Tabasco, México. pp. 69-82.
- Moody, J.R. and R.M. Lindstrom. 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. *Analytical Chemistry* 49: 2264-2267.
- Navarrete-Rodríguez, G., M. R. Castañeda-Chávez y F. Lango-Reynoso. 2013. Metales pesados en pesquerías de las lagunas Carmen-Machona, Tabasco. Evaluación de metales pesados en recursos pesqueros del complejo lagunar Carmen-Machona-Pajonal, Tabasco. Ed. Académica Española. Deutschland, Alemania. 184 p.
- Navarro, E. y S. Sabater. 2004. Contaminación de los ríos por metales pesados. *Investigación y Ciencia* 336: 26-31.
- Ponce, V.G y V.A. Botello. 1991. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la laguna de Términos, Campeche. *Hidrobiológica*. 1(2): 23-39.
- Prieto Valiente, L. y I. Herranz Tejedor. 2018. *Bioestadística sin dificultades matemáticas*. Díaz de Santos. Madrid España. 324 p.
- Rebelo, M.F., W.C. Pfeiffer, H. da Silva. and M. O. Moraes. 2013. Cloning and detection of metallothionein mRNA by RT-PCR in mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*). *Aquatic Toxicology* 64: 359-62.
- Rivera, A.E. y S.G. Borges. 2016. El gran ecosistema marino del Golfo de México: Perspectivas para su manejo. *Jaina Boletín Informativo* 16(1):30-48.

- Salazar, M.H. and S. M. Salazar. 1991. Assessing site-specific effects of TBT contamination with mussel growth rates. *Marine Environmental Research* 32: 131 -150.
- Toledo, O. A. 2015. Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México. *In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz Hernández (eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto ambiental: Diagnostico y Tendencias. 2ª Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. pp. 25–52.*
- Vázquez-Sauceda, M.L., G.G. Aguirre, C.R. Pérez, C.J. Rábago y S.J. Genaro. 2005. Contenido de cadmio y plomo en agua, ostión y sedimento de la laguna de San Andrés, Aldama, Tamaulipas. *Ciencia y Desarrollo IX (27): 3 - 9.*
- Villanueva, F. S y V. A. Botello. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 8 (1): 47-61.*
- Villanueva, F.S. y V.A. Botello. 2005. Vigilancia y presencia de metales tóxicos en la laguna el Yucateco, Tabasco, México. *In: Botello, A.V., Rendón von Osten, J., Gold Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.). Golfo de México contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2ª. Edición. México: UNAM. pp. 407-430.*