

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los procesos de industrialización del mundo moderno trae como consecuencia la liberación de desechos que se incorporan al ecosistema, muchos de ellos son considerados altamente tóxicos para los organismos acuáticos, como es el caso de los iones de los metales pesados, los cuales son un grupo de elementos químicos biológicamente activos y de baja abundancia en las aguas naturales.

Algunos metales traza, como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y cobalto (Co), son nutrientes esenciales que sirven como co-factores de numerosas enzimas, pero el cobre, cobalto y zinc son también tóxicos en altas concentraciones (Comisión mundial para el medio ambiente y desarrollo, 1987)

Todos los metales, incluyendo los micronutrientes esenciales, son virtualmente tóxicos para los organismos acuáticos, por lo tanto para los seres humanos también los niveles de exposición son suficientemente altos (Laws, 1996). El cobre se halla en forma natural en el agua de mar en concentraciones bajas, alrededor de 2 microgramos por litro ( $\mu\text{gL}^{-1}$ ) o partes por billón (ppb). En el agua de los ríos, la concentración es algo mayor, aproximadamente 7 microgramos por litro.

A través del proceso de concentración biológica, el cobre es bioacumulado por los organismos vivos filtradores, alcanzando una concentración en varios órdenes de magnitud en los macroinvertebrados (Laws, 1996). La asimilación implica la formación de complejos con sustancias orgánicas, no siendo fácilmente excretados.

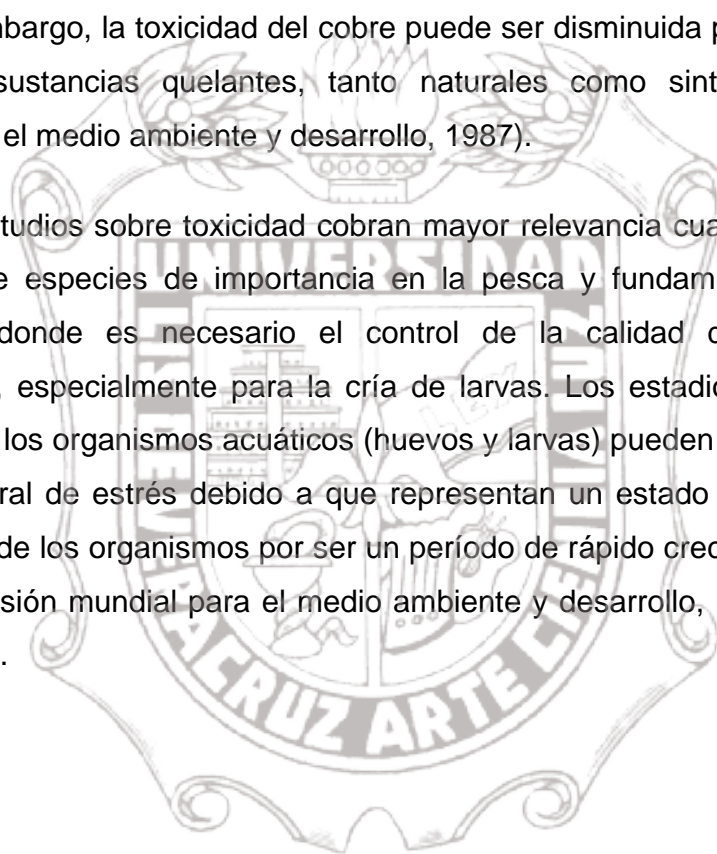
Aunque los organismos vivos requieren de ciertas cantidades de iones metálicos para realizar eficazmente los procesos fisiológicos, un exceso de iones de metales pesados causan estrés que se manifiesta en forma subletal o causan la muerte. Los organismos marinos han desarrollado un número variado de estrategias adaptativas que son denominadas colectivamente como "metabolismo

# Tesis de Maestría

de los metales" e incluyen la regulación activa de la absorción del metal, la distribución, el metabolismo y la excreción (Comisión mundial para el medio ambiente y desarrollo, 1987). Los estudios recientes han demostrado que la toxicidad del cobre está directamente relacionada a la actividad de los iones libres del cobre y su especificidad química que a la concentración total del metal, o bien, a las combinaciones de diferentes concentraciones de otros metales.

Sin embargo, la toxicidad del cobre puede ser disminuida por la presencia o adición de sustancias quelantes, tanto naturales como sintéticas (Comisión mundial para el medio ambiente y desarrollo, 1987).

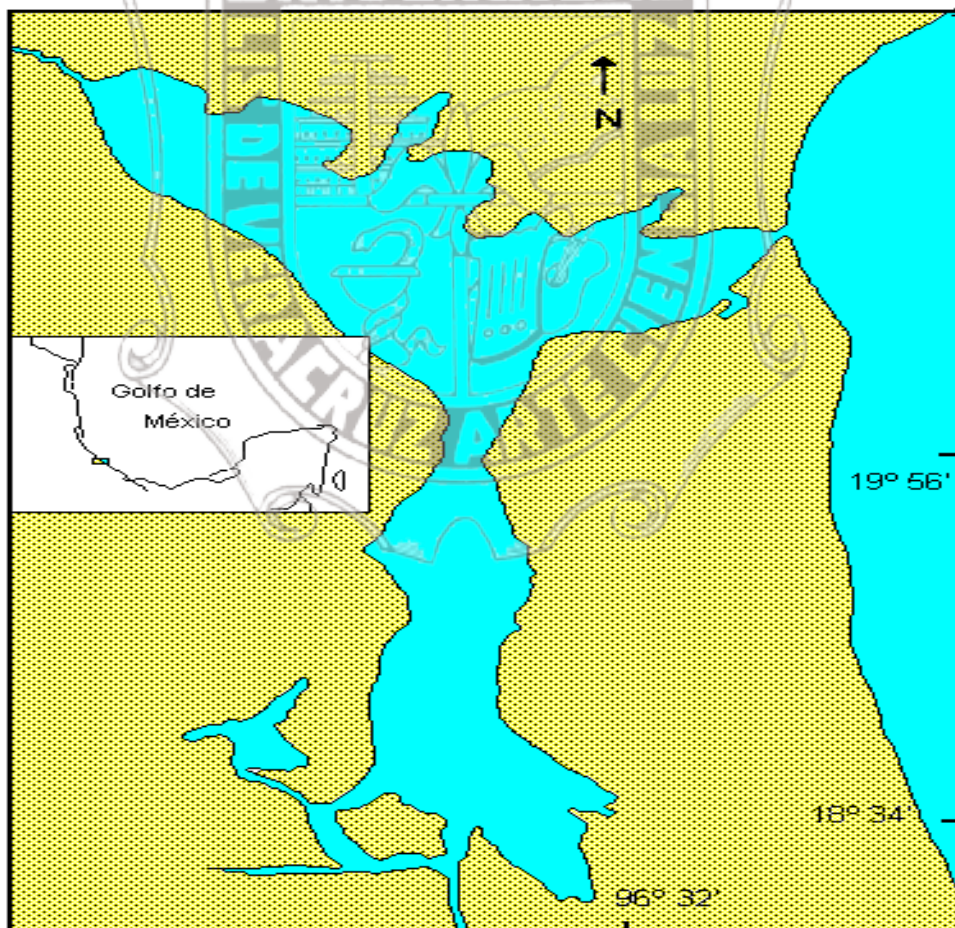
Los estudios sobre toxicidad cobran mayor relevancia cuando son llevados a cabo sobre especies de importancia en la pesca y fundamentalmente en la acuicultura, donde es necesario el control de la calidad del agua en las instalaciones, especialmente para la cría de larvas. Los estadios tempranos del desarrollo de los organismos acuáticos (huevos y larvas) pueden ser usados como medida general de estrés debido a que representan un estado muy sensible del ciclo de vida de los organismos por ser un periodo de rápido crecimiento y división celular (Comisión mundial para el medio ambiente y desarrollo, 1987; Crecelius y Bloom, 1987).



## II. ÁREA DE ESTUDIO.

El Estado de Veracruz se encuentra al este de la República Mexicana, entre los paralelos  $17^{\circ}08'$  y  $22^{\circ}28'$  de latitud norte y los meridianos  $93^{\circ}35'$  y  $98^{\circ}38'$  de longitud oeste. Por el norte colinda con el estado de Tamaulipas; por el oeste con San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla; con los estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco por el sur y sureste (INEGI, 1997). En este estado se ubican los sistemas lagunares La Mancha y Alvarado donde se realizó la primera etapa de este estudio.

### 2.1. Sistema lagunar La Mancha.



**Figura 1.** Localización del área de estudio de la laguna de La Mancha, Ver.

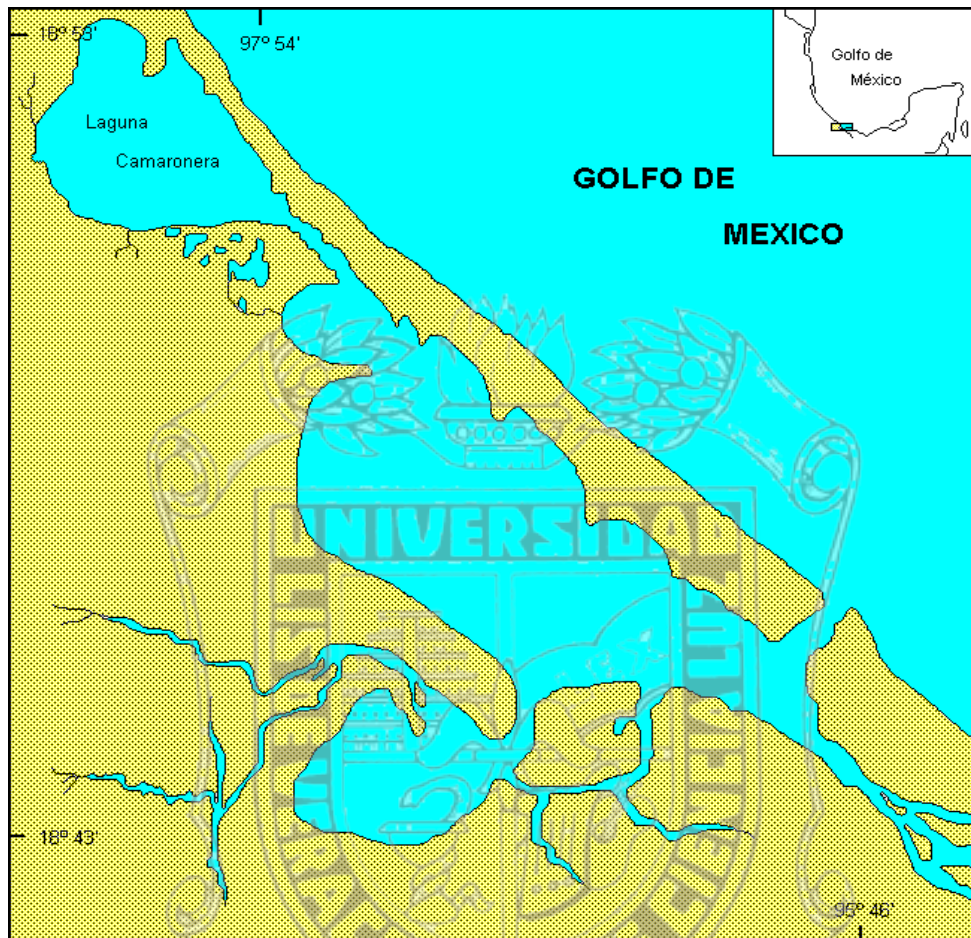
# Tesis de Maestría

La laguna de La Mancha, mostrada en la figura 1, se localiza en el litoral del Golfo de México hacia la parte central de la costa del estado de Veracruz; entre los paralelos 19° 34' y 19° 42' de latitud norte y los meridianos 96° 23' y 96° 27' de longitud oeste. El tipo de clima se considera del tipo Aw (w) (i") (cálido subhúmedo, con escasa oscilación térmica), afectado por ciclones y nortes (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, 1988). La temperatura máxima es de 34°C y la mínima de 16°C y la media anual está comprendida entre 22 y 26°C la precipitación pluvial se encuentra entre los 1200 y 1500 mm<sup>3</sup> anuales (Contreras *et al.*, 1995).

La laguna consta de dos cuerpos de agua separados por un pequeño canal llamado el "Crucero". La forma de la laguna es alargada y paralela a la costa, con una longitud de 3 km y un área lagunar de 15.6 km<sup>2</sup>. Tiene un área máxima de 607,606 m<sup>3</sup>, cuando la barra se abre. La afluencia estacional de agua dulce durante la época de lluvia es por medio de arroyos, mientras el aporte permanente es a través del arroyo conocido como "Caño Grande". La profundidad varía estacionalmente, presenta un máximo mensual de 1.4 m con la barra abierta. Los sedimentos están compuestos por sustrato fangoso, limo-arenoso y rocoso principalmente (Villalobos *et al.*, 1984).

El manglar es la vegetación dominante que rodea a la laguna, las especies que se presentan son *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*. En el interior de la laguna es posible encontrar a *Gracilaria verrucosa* como grupo dominante (Villalobos *et al.*, 1984)

## 2.2 Sistema lagunar de Alvarado.



**Figura 2.** Localización del área de estudio de la laguna de Alvarado, Ver.

El sistema lagunar de Alvarado mostrado en la Figura 2 se localiza al sureste de estado de Veracruz entre los paralelos  $18^{\circ} 44'$  y  $18^{\circ} 52'$  de latitud norte y  $95^{\circ} 44'$  y  $95^{\circ} 57'$  de longitud oeste. El clima es del tipo  $Aw_2 (i)$  (cálido-subhúmedo con un régimen de lluvias de verano). La temperatura promedio anual es de  $25.5^{\circ}C$ , enero es el mes más frío, y mayo el más caliente. La precipitación promedio anual es de  $1914 \text{ mm}^3$  (Contreras, 1995).

Está formado por cuatro cuerpos de agua: la laguna de Alvarado, la laguna de Tlalixcoyan, la pequeña laguna de Buenpais y la laguna Camaronera. Este

# Tesis de Maestría

complejo se conecta al mar mediante una boca natural situada en la porción sureste de la laguna de Alvarado y, en el extremo más estrecho de la barra arenosa, al norte del sistema, la laguna Camaronera se conecta al mar por medio de un canal artificial; tiene forma alargada con una longitud de aproximadamente 26 km y una superficie lagunar de alrededor de 72.6 km<sup>2</sup>. Los principales ríos que desembocan en el sistema son el Papaloapan, en la porción sureste del complejo; los ríos Camarón y Blanco desembocan en la laguna de Tlalixcoyan y el río Acula se conecta directamente con la laguna de Alvarado. En términos generales la laguna es de fondos someros con una profundidad promedio de 2 m hacia el centro y con profundidades mayores en la zona de los canales. En la parte central, el fondo está constituido por limo y arcilla; en las márgenes el componente principal es arena y en los canales hay arena con fragmentos de concha (García,1973).

La vegetación circundante del sistema está constituida principalmente por tres especies de mangle, cuyo orden de dominancia es *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Entre el manglar es posible encontrar algunas fanerógamas como *Spartina* spp. y *Typha* spp. Los pastos marinos están constituidos principalmente por *Rupia maritima* la cual se distribuye prácticamente por toda la laguna con excepción de las áreas más o menos profundas. Existe también con relativa abundancia la *Rodophycophyta Gracilaria verrucosa*, la cual es común encontrar cerca de los bancos ostrícolas descubiertos. La presencia de lirio acuático *Crinum erubescens* es muy común en la desembocadura de los ríos (Contreras, 1995).

### III. ANTECEDENTES.

Existe un número considerable de información referente a las concentraciones de metales pesados en moluscos bivalvos del genero *Crassostrea* provenientes de diferentes áreas de México, donde los ostiones se utilizan ampliamente en el monitoreo de estos contaminantes.

Rosas *et al.* (1986) determinó la concentración de metales pesados en algunas especies del Golfo de México, concluyendo que los ostiones tienen capacidad de concentrar una mayor cantidad de metales que el mismo ambiente marino y encontró que los valores de concentración para el Cr, Cd y Hg son mil veces mayores en los bivalvos que los obtenidos en agua. Con respecto al plomo, observaron que la concentración se incremento en los bivalvos de un 20 a 70 %.

Ávila-Pérez, (1988) cuantificó los niveles de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* de las lagunas litorales del estado de Tabasco, en donde se concluye que este organismo es un buen indicador de contaminación para metales pesados, y dada su capacidad de absorción se recomienda utilizarlo en la vigilancia permanente de los niveles de estos metales en los cuerpos de agua en que habita.

Ponce-Velez, (1988) evaluó la concentración de metales pesados en sedimentos recientes del ostión *C. virginica* en la laguna de Términos, Campeche encontrando que la concentración de metales pesados en los tejidos de los bivalvos es de 10 a 20 % mayor que la obtenida en el sedimento.

Marmolejo *et al.* (1990) efectuó un análisis del contenido de metales en los tejidos de *C. iridescens* y de *C. corteziensis* en Mazatlán, Sinaloa durante 10 meses, obteniendo concentraciones de plomo de 8 a 9 ppm durante el mes de mayo y diciembre, oscilando en el resto del año entre 4 y 5 ppm.

Villanueva F. *et al.* (1992) elaboró una recopilación de datos sobre concentraciones de algunos metales pesados no esenciales (Hg, Pb, Cd y Cr) en agua, sedimento y organismos de las zonas costeras del Golfo y Caribe mexicanos de 1972 a 1992, en el cual incluyen lagunas costeras de los estados del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche) y del Caribe Mexicano (Quintana Roo). Estos estudios revelan que los estados que han presentado mayor impacto por Hg y Pb son Veracruz, Tabasco y en menor magnitud Campeche, mientras que en Quintana Roo, de acuerdo a los datos reportados, el impacto de la contaminación por metales pesados en el Caribe Mexicano es nulo todavía.

Otros estudios son presentados en los cuadros 1 y 2:

**Cuadro 1.** Niveles de concentración de metales, para diferentes especies de moluscos bivalvos en diversos lugares del mundo ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  peso seco).

Especie Lugar	Cd	Cu	Pb	Zn	Referencia
<i>Crassostrea. iridescens</i> E. San Cristóbal (México)	1.45	24.7	-	599	Fílas y Paez,1991
<i>S. Iridescens</i> Costa noreste (México)	3.6	20.4	-	402	Paez y Marmolejo, 1990
<i>C. gigas Knysna</i> Estuary S.África	3.7	52	-	396	Watllng and Watllng,1976
<i>C. gigas</i> Hansan-Koja Bay (Corea)	2.7	308	-	543	Hwang <i>et al.</i> , 1986
<i>C. comercialis</i> Thalland gulf (Thalland)	3.2	100	-	571	Phillips and Muttarasin, 1985
<i>C. virginica</i> Atlantic Coast	-	220	-	406	Goldberg <i>et al.</i> , 1978

Fuente: compilación extraída de diversas investigaciones realizadas en México entre 1978 y 1991.



# Tesis de Maestría

**Cuadro 2.** Niveles de metales para diferentes especies de moluscos bivalvos de diversos lugares del mundo ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  peso seco).

Especie Lugar	Cd	Cu	Pb	Zn	Referencia
<i>Mitilus edulis</i> San Francisco, EUA	10.5	6.7	1.9	120	Goldberg et al., 1978
Gdansk, Polonis	4.6	3.5	6.9	300	Szefer y Szefer, 1958
Cape May, EUA	0.9	7.1	1.3	99	Goldberg et al., 1979
<i>M. galoprovincialis</i> Sicilia ©	0.78	7.69	3.5	132	Castagna et al., 1965
Brasil	1.8	10.2	5.1	100	Lacerda et al., 1985
<i>M. strigata</i> Urlas, México	0.5	13.6	7.5	77	Marmolejo et al., 1989
<i>Crassostrea virginica</i> Charleston, E-EUA	2.7	220	>0.1	4060	Páez et al., 1989
Lago Sabina, G-EUA	8.6	410	3.5	7080	Goldberg et al., 1978
<i>C. gigas</i> Cultivo EUA.	17-40	1760-648	15-17	9860-35120	Boyden y Romerll, 1974
<i>C. commercials</i> Golfo de Tailandia	3.24	100	0.52	579	Phillips, 1965
<i>C. corteziensis</i> Urlas, México	1.1	55	3.3	1330	Páez y Marmolejo, 1989
<i>S. iridescens</i> O. Cerritos-E. El verde	3.6	20	5.6	403	Páez y Marmolejo, 1989

Fuente: compilación extraída de diversas investigaciones realizadas en México entre 1978 y 1991.

En los cuadros 3, 4 y 5, se presentan concentraciones compiladas por Villanueva y Páez-Osuna en 1996 en análisis realizados para detectar Cd, Cr, Hg, Pb, Cu, Co, Ni, Mn, Fe, Zn en sedimentos y moluscos de lagunas costeras del estado de Veracruz en el periodo comprendido de 1973 a 1996.

# Tesis de Maestría

**Cuadro 3.** Concentraciones de metales pesados en sedimentos de lagunas costeras en el estado de Veracruz, México.

Laguna	Metal (mg·kg <sup>-1</sup> )			
	Hg	Pb	Cd	Cr
Tampamachoco	0.011	3.94	9.55	9.55
Mandinga	0.028	3.34	0.015	7.43

Fuente: (Rosas *et al.*, 1983)

**Cuadro 4.** Concentraciones de metales pesados en sedimentos del sistema lagunar Alvarado, Veracruz, México (Rosas *et al.*, 1986).

Metal (mg·kg <sup>-1</sup> )							
Pb	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Fe*	Mn
20.15	109.83	47.77	36.26	80.72	80.72	39.29%	757.58

Fuente: (Rosas *et al.*, 1983)

\*La concentración del hierro se da en porcentaje total

**Cuadro 5.** Resultados de metales pesados en ostión (*Crassostrea virginica*) en lagunas del estado de Veracruz, México.

Laguna	Metal (mg·kg <sup>-1</sup> )			
	Hg	Pb	Cd	Cr
Tampamachoco	0.2	1.86	2.06	0.89
Mandinga	0.74	3.03	1.54	2.24

(Rosas *et al.*, 1983).

Como se ve los estudios sobre metales pesados han sido más intensos en el litoral del Golfo de México tanto en los sedimentos como en los organismos, siendo el ostión *Crassostrea virginica* el más utilizado en los análisis. La determinación de metales pesados en columna de agua no es un análisis frecuente debido a que presenta dificultades técnicas (Ponce-Vélez, 1988).

El estudio de la concentración de metales pesados en sedimentos se debe a que son la consecuencia del acarreo de materiales por aporte fluvial, y se acumulan en lagunas costeras o en el mar (San Martín, 1983).

# Tesis de Maestría

La mayoría de la literatura que trata sobre la concentración de los metales “traza” en los organismos está dedicada a los bivalvos filtradores, especialmente mejillones y ostiones.

Los bivalvos han recibido una mayor atención debido a que presentan la habilidad de reflejar los niveles ambientales de los contaminantes en los ecosistemas estuarinos y marinos, así mismo presentan ciertas características como el ser sésiles, fáciles de hacer un muestreo, cosmopolitas, y longevidad adecuada, para ser considerados como especies indicadoras de contaminación (Goldberg *et al.*, 1976; Phillips y Muttarasin, 1977).



## IV. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

### 4.1 Clasificación de los cuerpos receptores de agua.

En la NOM-001-ECOL-1996, se define como aguas costeras a las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar. Al estuario lo define como el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg L<sup>-1</sup>., así como a los humedales naturales como las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos, originadas por la descarga natural de acuíferos. Por otro lado al límite máximo permisible lo especifica como valor o intervalo asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Los estuarios y lagunas costeras son ecosistemas altamente complejos; por sus características únicas, albergan a un gran número de organismos de importancia ecológica y comercial, así como por su ubicación sirven como asentamientos urbanos, portuarios e industriales. Estos asentamientos han utilizado a los estuarios y lagunas costeras como áreas de vertimiento de sus desechos, lo que ha provocado un desequilibrio ecológico. De estos asentamientos, el industrial es uno de los que más daño ha causado. La industria petrolera es una de las principales en México, su manejo y su explotación ha provocado una serie de alteraciones, sobre todo en lo que se refiere a la zona del Golfo de México (Ávila Pérez, 1988).

La contaminación marina y de la zona costera, se ha convertido en un problema económico, político y social. Se define la polución marina como: la

# Tesis de Maestría

introducción directa o indirecta por el hombre, de sustancias o energía en el medio marino (incluyendo estuarios y lagunas costeras), que resulten en efectos deletéreos y daños a los recursos vivos, peligro a la salud humana, alteración de las actividades marinas incluyendo la pesca, menoscabo a la calidad del agua y la reducción del valor recreativo.

La contaminación por derrames petroleros ha provocado en los últimos años la realización de un gran número de investigaciones de los daños ecológicos. Sin embargo, estas investigaciones se han dirigido hacia el análisis de los componentes mayores del hidrocarburo. Así mismo, se han observado en estos trabajos una relación entre los hidrocarburos y los metales pesados, donde en un lugar contaminado por hidrocarburos existe un aumento en la concentración de metales como níquel, vanadio, hierro, cromo, cobre, zinc y plomo, por lo tanto, el hecho de que estos hidrocarburos los contengan como componentes estructurales, plantea la condición de utilizarlos como indicadores de contaminación por hidrocarburos (Ávila Pérez, 1988).

En mar abierto, las concentraciones de hidrocarburos generalmente son bajas y su origen no siempre puede ser determinado con facilidad, por otro lado, en la zona costera los hidrocarburos pueden presentarse en concentraciones altas indicando procesos de contaminación por petróleo resultado de infiltraciones naturales, derrames accidentales, desechos de refinerías y plantas petroquímicas, operaciones portuarias, transporte y lavado de buques tanque, así como por vía atmosférica.

Los hidrocarburos también se pueden originar por la combustión incompleta de combustibles, hulla, madera y se le conoce como pirolítico, estos a través de la atmósfera llegan a la zona costera y por procesos de sedimentación alcanzan los sedimentos costeros donde son susceptibles de almacenarse por largos periodos de tiempo (Botello *et al.*, 1996).

# Tesis de Maestría

De acuerdo con la PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), el ambiente marino necesita protección de los metales pesados, debido a que los metales pesados son electores naturales de la corteza de la tierra. Las actividades humanas han alterado drásticamente los ciclos bioquímicos y geoquímicos así como el equilibrio de algunos metales pesados. Los metales pesados son contaminantes del medio ambiente, estables y persistentes desde que no pueden degradarse o no pueden destruirse. Por consiguiente, tienden a aumentar sus concentraciones en las tierras y sedimentos. Los niveles excesivos de metales en el ambiente marino pueden afectar su biota y pueden poner en riesgo a los consumidores humanos de marisco. Los metales y sus compuestos, inorgánicos y orgánicos se liberan al ambiente como resultado de una variedad de actividades humanas. Donde el volumen del contaminante y exposición son significantes, se encontró una gama amplia de metales y compuestos metálicos en el ambiente marino que ponen en riesgo la salud humana a través del consumo de marisco. Muchos metales son esenciales a la vida y sólo se vuelven tóxicos cuando las exposiciones sobre la biota son excesivas (es decir, exceda algún límite para la introducción de efectos adversos). Mientras ciertos metales no-esenciales no tienen límites explícitos para la exposición y para la aparición de efectos, la naturaleza de la respuesta biológica a la exposición del metal es una consecuencia directa de la misma y se define a través de las relaciones de dosis-efecto. Esto difiere de las relaciones dosis-respuesta asociadas con muchos contaminantes orgánicos sintéticos y radionúclidos donde los riesgos de efectos adversos, se asume que son proporcionales a la exposición. En base a los acuerdos de la PNUMA, es deseable minimizar tales exposiciones. En contraste, el desafío predominante para el caso es uno: "Limitar la exposición de metales pesados hasta niveles que no causen efectos adversos".

Las principales fuentes antropogénicas de metales pesados son los aportes industriales; los cuales incluyen: la presente y anteriores actividades mineras, las fundiciones, y las fuentes difusas tales como, transportar por tuberías derivados de la combustión que conducen a los metales pesados relativamente volátiles entre otros y aquéllos que se adhieren a las partículas de aire acarreadas y que pueden

dispersarse ampliamente en áreas muy grandes; los metales pesados que son acarreados por medio de agua y sedimento (Ej., río corriente-afuera) entran en el ciclo biogeoquímico costero normal y se retienen en grandes cantidades cerca de la orilla y en regiones estuarinas. Por lo tanto PNUMA a través de sus dependencias, tiene como objetivo/propuesta, el reducir y/o eliminar emisiones y descargas antropogénicas para prevenir, reducir y excluir la polución causada por los metales pesados.

## 4.2 Descripción de la especie.

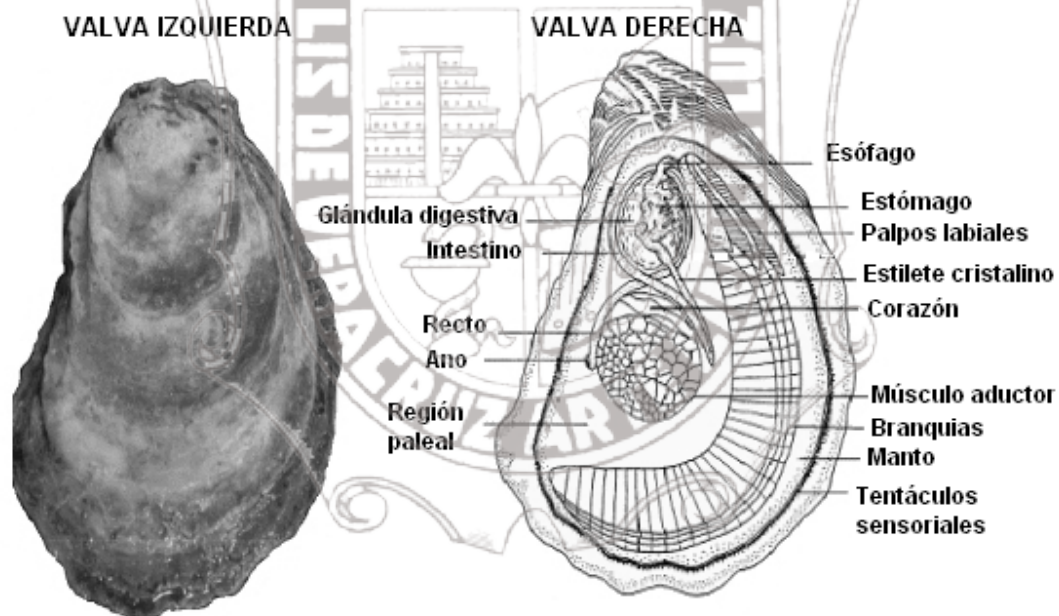
Los ingleses denominan "ostra" (*oyster*) a todas las especies de ostreidos; igual lo hacen los demás países (Francia: *hûître*; Alemania: *auster*; Portugal: *ostra*; Italia: *ostrica*; Grecia: *ostrea*). España, en cambio, hace la distinción entre ostra (*Ostrea*) y ostión (*Gryphea* y *Crassostrea*), aunque tiene algún fallo: la ostra virgínica que es un ostión y la ostra portuguesa que es el clásico ostión sudatlántico, tan apreciado en Cádiz (Ruppert y Barnes, 1996).

### 4.2.1 Generalidades del ostión *Crassostrea virginica*

*Crassostrea virginica*, conocido comúnmente como ostión americano, es una especie que se encuentra ampliamente distribuida en el Golfo de México y en el Caribe, se explota con cierta intensidad en lagunas costeras de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche. En el estado de Veracruz se registró una producción de 24,264 toneladas de ostión, el cual representa el 45.95% del total nacional (SEPESCA, 2001), cuya captura proviene principalmente del sistema lagunar Mandinga-Boca del Río, laguna de la Mancha, Alvarado, Tampamachoco, Tamiahua, Tuxpan, Pueblo Viejo, Tecolutla, Estero de Tres Bocas, Río Misantla y Barra de Palmas (Ruppert y Barnes, 1996).

Estos organismos se desarrollan fijos a un sustrato generalmente duro, se encuentran formando agrupaciones o islotes denominados bancos, que en la costa mexicana se denominan comúnmente cabezos. Se distribuyen en las zonas

tropicales y templadas, se encuentran desde el nivel del mar hasta profundidades de 40 m. Sin embargo son organismos que prosperan principalmente en aguas poco profundas. El hábitat de las principales especies comerciales en México es el agua estuarina a salinidad de 10-27 Unidades de Salinidad Práctica (USP) y temperatura mayor de 20°C, sobre fondos duros de las aguas costeras, esteros, bahías y marismas, fijos a objetos sólidos del sustrato, a las raíces de los mangles y en algunas áreas de las costas rocosas. El ostión (Figura 3) es un organismo que se alimenta de fitoplancton (de paredes celulares delgadas que se digieren mejor que las de paredes celulares fuertes como las diatomeas), de partículas orgánicas muy pequeñas (detritus) de la desintegración de plantas y animales, así como de otros microorganismos (hongos y bacterias) (González, 1991).



**Figura 3.** Anatomía del ostión *Crassostrea virginica* (Ruppert y Barnes, 1996).

El ostión permanece inmóvil alimentándose por filtración aceptando cualquier tipo de alimento microscópico que se encuentre en el agua; filtra agua alrededor de 10 a 20 L min<sup>-1</sup>, obteniendo de esta manera el oxígeno y cerca de



dos terceras partes de la energía que puede ser asimilada para crecimiento. Las épocas de reproducción del ostión *Crassostrea virginica* en el estado de Veracruz son en los meses de Marzo a Junio y los meses pico de Agosto a Octubre (Villatoro y Villafuente, 1996).

### 4.3 Descripción del sedimento.

Los sedimentos son partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de rocas, precipitación química de soluciones acuosas o secreciones de organismos que son transportadas por el agua o el viento.

#### 4.3.1 Principales fuentes de los sedimentos de playas y orillas.

Están representadas por los ríos, que transportan grandes cantidades de sedimento hasta el océano; los acantilados marinos de material no consolidado, que son desgastados por las olas, y los restos de origen biológico, como las conchas, los fragmentos de corales y otros esqueletos de pequeños organismos marinos. La arena arrastrada por el viento puede actuar como una fuente de sedimento en las orillas, aunque los vientos, por lo general, son más eficaces quitando arena de las playas que depositándola.

Los geólogos marinos han calculado los índices de erosión y depositación, lo que ha sido muy útil para conocer las características de la costa a fin de comprender los procesos que han intervenido en la formación de los litorales.

Los fragmentos transportados de mayor dimensión, como los grandes trozos de roca, las piedras, llamadas cantos, de tamaño medio que el agua rueda, las piedras más pequeñas, gravas o gravillas, y las arenas gruesas o medianas permanecen cerca de la costa, los fangos y barros, constituidos principalmente por polvos, precoloides y coloides, son llevados mar adentro.

# Tesis de Maestría

Los granos de arena son producto casi siempre de la desintegración de granitos formados principalmente por cuarzo cuyo tamaño varía de 2 milímetros a 50 micrometros (cuadro 6).

**Cuadro 6.** Clasificación de sedimentos marinos de Boucart.

TIPO	TAMAÑO en milímetros (mm)
Fragmentos grandes	Más de 500
Cantos	500 - 250
Gravas	25 - 10
Gravillas	10 - 5
Gránulos	5 - 2
Arenas gruesas	2 - 0.2
Arenas medias	0.2 - 0.05
Polvos	0.005 - 0.002
Precoloides o suspensoides	0.002 - 0.0001
Coloides	0.0001

En las zonas de aguas poco profundas se depositan arenas o cantos en el lugar donde el oleaje, la resaca y las mareas alcanzan un punto de equilibrio formando las barras costeras, las cuales, según sus características, pueden recibir diversos nombres, como cordones litorales y restingas, o flechas, que son salientes de la costa conformadas por arena gruesa.

# Tesis de Maestría

Con frecuencia, estas barras crecen a partir de la punta de un promontorio y, por efecto de las mareas y el oleaje, pueden emigrar hacia la costa, cerrando una ensenada o una bahía, lo que origina una laguna litoral o albufera.

Con el paso de los años la albufera se rellena de sedimentos marinos y fluviales. En ese momento, sus bocas que comunican al mar se cierran y tienden a desaparecer, como en la Laguna de Términos, en Campeche, México, y como las albuferas de Valencia, en España, y las de Venecia, en Italia.

Las olas, los vientos y las corrientes, en combinación con los fenómenos que ocurren en la tierra, como las lluvias y la transportación del agua de los continentes hasta el mar, determinan la configuración de la costa y la batimetría, es decir, la distribución de las profundidades (Figura 4).

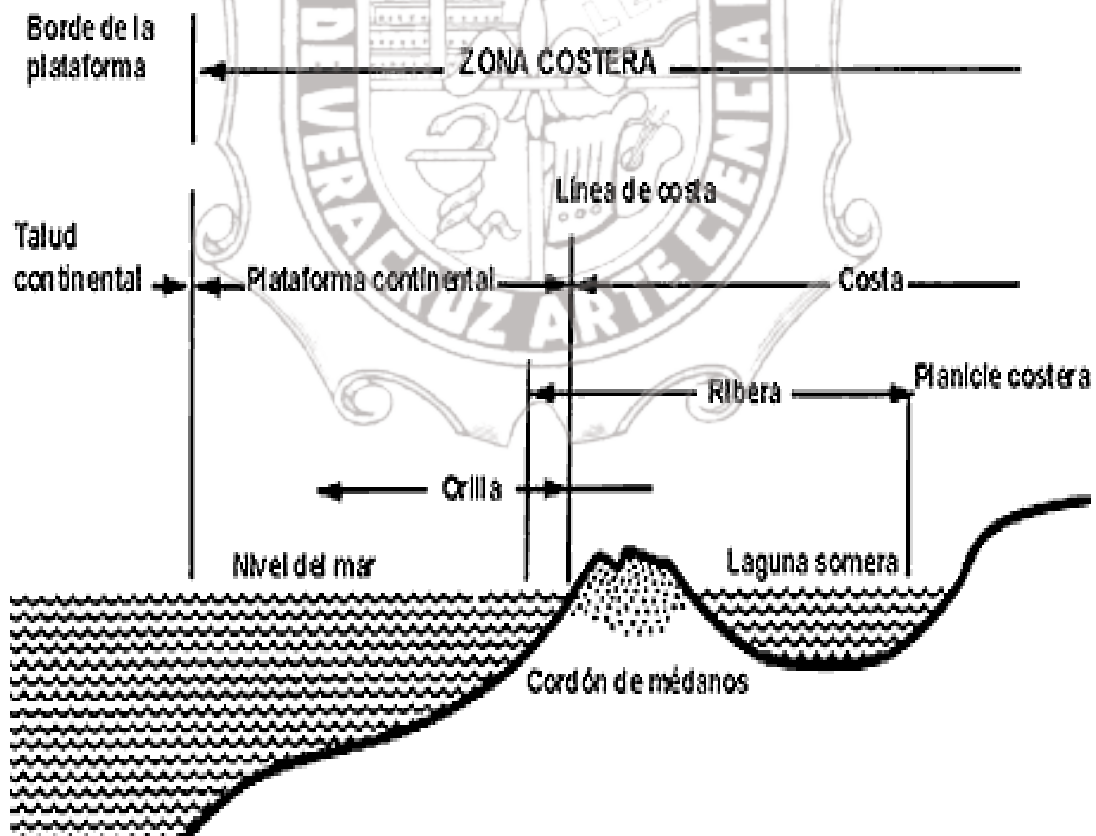


Figura 4. Perfil de la costa con barrera de islas.

Los sedimentos son restos de materia inorgánica y orgánica que se depositaron sobre la corteza de la Tierra, tanto en los continentes como en el fondo del mar, y constituyen un registro fiel de las condiciones del medio ambiente y de los organismos que han existido a través de la historia del planeta.

La naturaleza de los materiales que contienen los sedimentos puede variar desde depósitos muy blandos, como el aluvión de los ríos, hasta un material duro, como las piedras formadas por la acumulación continua de sales calcáreas. El índice de acumulación sedimentaria en los océanos es muy variable, porque es determinado por una serie de factores que lo pueden acelerar o retardar.

Los ambientes lagunares presentan facies lodosas en las zonas más protegidas o profundas, pasando a facies de soporte granular en los bajos. El crecimiento de manglares y otras fanerógamas ejercen un importante control en la sedimentación de estos ambientes.

#### **4.3.2 Sedimentos de los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha, Veracruz.**

El sistema lagunar de Alvarado es una Llanura Costera con Barrera física presente con escurrimiento continuo; forma y batimetría modificada generalmente por deltas lagunares y formación de sub-lagunas; energía debida tanto a la acción mareal como al flujo del río; y la salinidad usualmente muestra gradientes hiposalinos (CONABIO, 1988), que corresponden a los tipos geomorfológicos I-D, según Lankford (1977) donde I: erosión diferencial y D: boca de valle inundado con barrera física presente; estas características producen un suelo del tipo gleysol, caracterizado por la acumulación y estancamiento de agua en la época de lluvias. En la capa saturada con agua se observan colores azulosos, verdosos o grises que al secarse presentan manchas rojas, acumulación de sales y son poco susceptibles a la erosión (Portilla Ochoa *et al.*, 2003).

El sistema lagunar La Mancha es una laguna con lecho rocoso e interdunaria costera de trampas de postduna y postacantilado, con una selva baja

caducifolia inundable, es de agua dulce y se alimentan del manto freático, poco profundas (sector sur > 5 m., norte > 2 m., y sector estrecho igual a 2 m. de profundidad) y salobres. Las mismas se comunican con el mar a través de los espesores de arenas y se alimentan del agua dulce de los cerros cercanos (Moreno, 2003), estas características producen un tipo de sedimento de origen fangoso, limoarcilloso y rocoso, en el borde occidental se ubica la vía del ferrocarril que va de Veracruz a Tampico; con ello se incremento la sedimentación, que actualmente es importante. El perfil sedimentario tiene una compactación de 37%, con 9 cm de bivalvos fuertemente cementados, fragmentados y desarticulados, además ciclos granodecreciente en el tamaño de los clastos biogénicos intensamente fragmentados con presencia de *Rupia marítima*, lo que estaría significando un mayor aporte de sedimento en detrimento de la formación de bancos de conchillas, de arcilla negra tipo "peat" asociado a la instalación del ecosistema de manglar, raíces grandes y pequeñas, radículas y moteados (hidromorfismo, procesos gley), material orgánico actual donde se instalan las bases de los neumatóforos y hojarasca fresca y en descomposición (Arenas, 1999).

#### **4.4 Efecto de los metales pesados en organismos acuáticos.**

##### **4.4.1 Aluminio.**

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio.

## a) Efectos del aluminio sobre la salud.

La toma de aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de aluminio puede causar un efecto serio en la salud como: daño al sistema nervioso central, demencia, pérdida de la memoria, apatía, temblores severos.

## b) Efectos ambientales del aluminio.

Los efectos del aluminio han atraído nuestra atención, mayormente debido a los problemas de acidificación. El aluminio puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas. Las concentraciones de aluminio parecen ser muy altas en lagos acidificados. En estos lagos un número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas.

Altas concentraciones de aluminio no sólo pueden ser encontrados en lagos ácidos y aire, también en aguas subterráneas y suelos ácidos. Hay fuertes indicadores de que el aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando estas están localizadas en las aguas subterráneas.

### 4.4.2 Cadmio.

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68°F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F) son inferiores a los del zinc. Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial. El cadmio es miembro del grupo IIB (zinc, cadmio y

mercurio) en la tabla periódica, y presenta propiedades químicas intermedias entre las del zinc metálico en soluciones ácidas de sulfato. El cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro.

## a) Efectos de cadmio sobre la salud.

La toma por los humanos de cadmio tiene lugar mayormente a través de la comida. Los alimentos que son ricos en cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración de cadmio en los humanos. Ejemplos son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.

Una exposición a niveles significativamente altas ocurren cuando la gente fuma. El humo del tabaco transporta el cadmio a los pulmones. La sangre transportará el cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del cadmio que está ya presente por comer comida rico en cadmio. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan cadmio en el aire y gente que trabaja en las industrias de refinerías del metal. Cuando la gente respira el cadmio este puede dañar severamente los pulmones. Esto puede incluso causar la muerte. El cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El cadmio se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano.

## b) Efectos ambientales del cadmio.

Las aguas residuales con cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles.

Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.

Otra fuente importante de emisión de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos por las compañías productoras.

El cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. Este lodo rico en cadmio puede contaminar las aguas superficiales y los suelos.

En ecosistemas acuáticos el cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al cadmio puede variar ampliamente entre organismos acuáticos. Organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por cadmio que organismos de agua dulce. Animales que comen o beben cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro.

#### 4.4.3 Cobre.

El cobre se halla en forma natural en el agua de mar en concentraciones bajas, alrededor de 2 microgramos por litro o partes por billón. En el agua de los ríos, la concentración es algo mayor, aproximadamente 7 microgramos por litro. A través del proceso de concentración biológica, el cobre es bioacumulado por los organismos vivos filtradores, alcanzando una concentración de varios órdenes de magnitud en los macroinvertebrados.

##### a) Efectos del cobre sobre la salud

El cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. La absorción del cobre es necesaria, porque el cobre es un



# Tesis de Maestría

elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho cobre puede también causar problemas de salud.

La gente que vive en casas con tuberías de cobre está expuesta a más altos niveles de cobre que la mayoría de la gente, porque el cobre es liberado en sus aguas a través de la corrosión de las tuberías.

Aunque existe preocupación acerca de los potenciales efectos adversos tanto crónicos como agudos de la ingesta de cobre, el interés en materia de salud pública y regulación se ha centrado principalmente en efectos gastrointestinales agudos. Los informes de efectos gastrointestinales agudos han sido la principal base para las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y las regulaciones en los Estados Unidos. El cobre iónico libre que llega al estómago puede inducir efectos gastrointestinales no específicos.

Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún.

Hay artículos científicos que indican una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes.

## a) Efectos ambientales del cobre.

La mayor concentración de cobre en los crustáceos decápodos se encuentra en el hepatopáncreas y en la sangre, donde forma parte del pigmento respiratorio o hemocianina. El cobre es un contaminante metálico marino que tiene gran importancia debido a que la aleación cobre-níquel se emplea como

antifouling en los intercambiadores de calor del sistema de enfriamiento con agua de mar de las plantas atómicas. Las sales de muchos metales pesados poseen ciertas propiedades biácidas. El sulfato de cobre, es un poderoso alguicida, siendo parte integrante del producto comercial «Copper Control» Argen Chemical Laboratory, USA, de uso generalizado en acuicultura, tanto para el control de la vegetación acuática indeseable como en la inducción de la muda en los camarones y langostinos adultos. La toxicidad aguda del cobre difiere grandemente de acuerdo al nivel trófico del organismo y al estadio de su ciclo de vida.

La mayoría de los compuestos del cobre se depositarán y se enlazarán tanto a los sedimentos del agua como a las partículas del suelo. Compuestos solubles del cobre forman la mayor amenaza para la salud humana. Usualmente compuestos del cobre solubles en agua ocurren en el ambiente después de liberarse a través de aplicaciones en la agricultura. Fuentes naturales de contaminación por cobre: ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos.

#### 4.4.4 Cromo.

El cromo se encuentra ampliamente distribuido en los tejidos humanos en concentraciones extremadamente bajas y variables. Es esencial para mantener la tolerancia normal a la glucosa y es un co-factor con la insulina. La concentración de cromo en sangre humana es estimada de  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  y en orina  $5-10 \text{ mg L}^{-1}$ . La mayoría de los efectos tóxicos del cromo son causados por componentes del cromo hexavalente. Se ha observado que causa irritación de la piel y tracto respiratorio, daños en hígado y riñón.

##### a) Efectos del cromo sobre la salud.

La gente puede estar expuesta al cromo a través de respirarlo, comerlo o beberlo y a través del contacto con la piel. El nivel de cromo en el aire y el agua es

generalmente bajo. En agua para beber el nivel de cromo es usualmente bajo como en el agua de pozo, pero cuando esta se contamina puede contener el peligroso cromo (VI) ó cromo hexavalente. Para la mayoría de la gente la mayor ruta de entrada de cromo, como cromo III ocurre de forma natural en muchos vegetales, frutas, carnes, levaduras y granos. Diversas formas de preparación de comida y su almacenamiento pueden alterar el su contenido de cromo. Cuando la comida se almacena en recipientes de acero o latas las concentraciones de éste pueden aumentar. El cromo III es un nutriente esencial para los humanos y la falta de este puede causar condiciones del corazón, trastornos metabólicos y diabetes, pero la toma excesiva puede causar efectos sobre la salud también, por ejemplo erupciones cutáneas.

El cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, en personas que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al cromo. Cuando es un compuesto en los productos para la piel, puede causar reacciones alérgicas, como es erupciones cutáneas. Después de ser respirado el cromo (VI) puede causar irritación y sangrado de la nariz. Otros problemas de salud que causa el cromo (VI) son; erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón, muerte

## b) Efectos ambientales del cromo.

Las mayores actividades humanas que incrementan las concentraciones de cromo (III) son el acero, las peleterías y las industrias textiles, pintura eléctrica, y de cromo (VI) las aplicaciones industriales. Estas aplicaciones incrementan las concentraciones del cromo en agua. Además por la combustión del carbón el cromo será también emitido al agua y eventualmente se disolverá.

Los cultivos contienen sistemas para gestionar la toma de cromo para que esta sea lo suficientemente baja como para no causar cáncer. Pero cuando la

cantidad de cromo en el suelo aumenta, esto puede aumentar las concentraciones en los cultivos. La acidificación del suelo puede también influir en la captación de cromo por los cultivos. Las plantas usualmente absorben sólo cromo (III). Esta clase de cromo probablemente es esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor, efectos negativos pueden ocurrir.

No es conocido que el cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales el cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores.

#### 4.4.5 Plomo.

El plomo no es considerado como un elemento traza esencial, aún cuando se han encontrado reportes que indican que este se encuentra en minúsculas cantidades en los tejidos vivos.

El plomo es uno de los elementos más tóxicos que se conocen por su carácter acumulativo en los tejidos de los organismos, encontrándose en concentraciones que llaman la atención en almejas, ostiones y camarones.

La mayor parte del plomo orgánico se acumula en el cerebro, debido a su especial afinidad entre el plomo orgánico y los lípidos de los tejidos nerviosos.

La mayoría de las sales del plomo son muy poco solubles, de allí que para observar una toxicidad aguda debe estar en altas concentraciones. Los efectos crónicos y agudos del plomo incluyen efectos histopatológicos, deformidades, neurotoxicidad, anemia hemolítica e inhibición en la síntesis de la hemoglobina.

El plomo puede ocasionar interacciones con los grupos carboxilo y fosforil por ingestión crónica.

# Tesis de Maestría

## a) Efectos del plomo sobre la salud.

El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Este es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas son ahora requeridos llevar a cabo un ajuste de pH en agua que sirve para el uso del agua potable. Que nosotros sepamos, el plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua. El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son: perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos y abortos sutiles, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

## b) Efectos del plomo sobre el medio ambiente.

El plomo puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de plomo en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen plomo. No puede ser roto, pero puede convertirse en otros compuestos.

El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente.

Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbadas cuando interfiere con el plomo. El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen. Este es el porqué nosotros ahora empezamos a preguntarnos si la contaminación por plomo puede

influir en los balances globales. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presentes. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por plomo.

El plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

#### 4.4.6 Zinc.

##### a) Efectos del zinc sobre la salud.

El zinc es un elemento traza que es esencial para la salud humana, ya que un defecto en él, puede experimentar una pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor, pequeñas llagas y erupciones cutáneas.

Por contacto es una sustancia que irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio, pudiendo causar efectos en la sangre (metahemoglobinemia), el riñón, provocar vómitos, náuseas, y anemias si se produce una ingestión de elevadas cantidades, sin embargo la sintomatología puede aparecer de forma no inmediata.

##### c) Efectos del zinc sobre el medio ambiente.

Con respecto a su incidencia con el medio ambiente, el medio acuático generalmente se contamina de grandes cantidades de zinc gracias a los vertidos de las plantas industriales, provocando la presencia de fangos contaminados en las orillas de los ríos y de la acidificación de las aguas superficiales. Algunos peces acumulan zinc en sus órganos, pudiendo transmitirse al hombre a través de la cadena alimenticia.

## 4.5 Clasificación de las fuentes de metales pesados.

Los Metales pesados y cianuros como aquéllos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna y en lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

### 4.5.1 Efluentes de la minería.

Los proyectos de este sector se relacionan con la extracción, transporte y procesamiento de minerales y materiales de construcción, en el estado de Veracruz solo existe ésta última. Estas actividades incluyen: operaciones en la superficie y subterráneas, para la producción de minerales metálicos, no metálicos e industriales, materiales de construcción y fertilizantes; extracción in situ de los minerales fundibles o solubles (notablemente, azufre y más recientemente, cobre), dragado y extracción hidráulica, junto a los ríos y aguas costaneras, lixiviación de las pilas de desechos en las minas (principalmente oro y cobre).

Todos los métodos de extracción minera producen algún grado de alteración de la superficie y los estratos subyacentes, así como los acuíferos (Figura 5). Los impactos de la exploración y predesarrollo, usualmente, son de corta duración e incluyen:

Alteración superficial causada por los caminos de acceso, hoyos y fosas de prueba, y preparación del sitio; polvo atmosférico proveniente del tráfico, perforación, excavación, y desbroce del sitio; ruido y emisiones de los equipos a diesel, alteración del suelo y la vegetación, ríos, drenajes, humedales, recursos culturales o históricos, y acuíferos de agua freática, y, conflictos con los otros usos de la tierra.



**Figura 5.** Esquema para la circulación de las aguas superficiales y el flujo de las aguas subterráneas.

Los hoyos mal sellados, o sin el entubado adecuado, pueden permitir intercambio y contaminación entre los acuíferos. Si no es neutralizada o tratada adecuadamente, el efluente del proceso de eliminación de agua de las minas superficiales o subterráneas, puede ser muy ácido, y contaminará las aguas superficiales locales y las aguas freáticas de poca profundidad, con nitratos, metales pesados o aceite de los equipos, reduciendo las existencias locales de agua, o causando erosión en los ríos y canales.

La actividad, que más puede contaminar las aguas son los relaves mediante un tanque de relaves (Figura 6). Éste es una obra que se construye para contener en forma segura los relaves provenientes de una planta de beneficio de minerales, principalmente por flotación. Los relaves están compuestos por material molido y agua con reactivos. Un tanque de relaves está formado por un muro de contención, construido normalmente con la fracción gruesa del relave, y una cubeta. En la cubeta los sólidos finos sedimentan y en la superficie se forma una laguna de aguas claras.



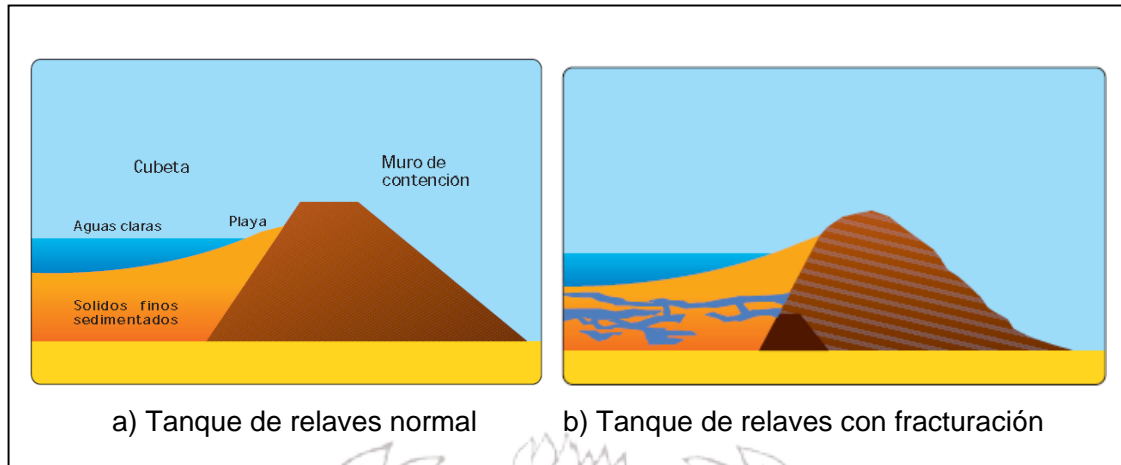


Figura 6. Tanque de relaves.

## 4.5.2 Efluentes industriales.

Estos aportes desde los orígenes de la instalación de la industria química en los años sesenta hasta nuestros días, han sufrido una enorme disminución debido a los sucesivos Planes Correctores abordados a lo largo de estos treinta y cinco años. No obstante, las reducciones más importantes tuvieron lugar en la década de los ochenta con la introducción de los circuitos cerrados, la puesta en funcionamiento de los tratamientos biológicos, las continuas mejoras en las reutilizaciones y los tratamientos de efluentes, nos permiten afirmar que la normatividad en México está siendo aplicada. La norma que en la actualidad rige los límites de contaminación por metales es la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, misma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

## 4.5.3 Efluentes domésticos

De una población estimada de 190 000 habitantes, cuyas aguas residuales tienen una depuración escasa e incompleta (INEGI, 2005), la contaminación por metales pesados y el tratamiento no adecuado de los desechos sólidos: la cantidad de metales pesados, químicos sintéticos y desechos peligrosos que llega a las aguas subterráneas proveniente de los depósitos de basura y otras fuentes

no puntuales (escorrentía, infiltración en zonas agrícolas), parece estarse duplicando cada quince años en América Latina.

Según el plan de acción estratégico sobre aguas residuales municipales del programa de acción mundial, las descargas de aguas residuales domésticas son una de las amenazas más importantes que encara el desarrollo sostenible de las zonas costeras en todo el mundo. Los efectos de las distintas descargas de aguas residuales domésticas suelen estar localizados, pero constituyen una de las principales fuentes de contaminación marina y de las zonas costeras en todas las regiones y, por consiguiente, un problema mundial. Los organismos patógenos, presentes en las aguas del mar y los estuarios que están contaminadas por las aguas residuales domésticas, provocan transmisiones masivas de enfermedades infecciosas a los bañistas y a los consumidores de moluscos frescos o poco cocinados, y su efecto económico se calculó recientemente en unos 12 000 millones de dólares anuales (GESAMP, 2007).

#### **4.5.4 Efluentes agrícolas.**

En las últimas décadas las distintas actividades asociadas al sector agropecuario han sufrido una importante transformación, especialmente en los países más desarrollados. Se han intensificado las actividades agrícolas y se ha pasado de las típicas explotaciones ganaderas extensivas, ligadas al suelo, a las explotaciones ganaderas intensivas, sin suelo. Los cambios en los sistemas de producción agropecuaria han generado indudables logros socioeconómicos aunque como contrapartida han generado importantes problemas de carácter medioambiental. Una parte muy importante de estos problemas medioambientales derivan de la contaminación difusa que genera las actividades agrícolas, un tipo de contaminación muy compleja y muy difícil de acometer. Pero también una parte importante de esta contaminación procede de los residuos generados en las nuevas prácticas de ganadería extensiva. Agricultura y ganadería constituyen las principales fuentes de contaminación difusa de las aguas.

# Tesis de Maestría

La contaminación de las aguas causada por la producción agrícola y ganadera intensiva (sedimentos, nutrientes, agentes patógenos, fertilizantes y plaguicidas) es un fenómeno cada vez más acusado que se manifiesta, especialmente en un aumento de la concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas con la consiguiente pérdida de la calidad de las mismas, llegando incluso a generar procesos de eutrofización en embalses, lagos, estuarios, etc. Es por ello que en el control de la contaminación por nitratos se hace necesario una modificación de todas las prácticas que generan este tipo de contaminación. Una aplicación adecuada de fertilizantes y plaguicidas proporcionará menor contaminación de las aguas superficiales y principalmente de las aguas subterráneas, donde el problema se agudiza por la mayor dificultad que entraña cualquier corrección.

Pero sin lugar a dudas son las aguas subterráneas las que se ven más afectadas por este tipo de contaminación ya que a ellas se incorporan los nitratos por infiltración/lixiviación cuando no son absorbidos por el terreno. Los suelos y las aguas superficiales también se ven afectadas, aunque en menor medida.

La contaminación difusa tiende a adquirir cada vez mayor protagonismo en la degradación de los recursos hídricos. Además, cuanto mayor es el grado de depuración y limitación de los vertidos puntuales, más destaca el efecto que este tipo de contaminación produce, sobre todo si se tiene en cuenta que en determinadas cuencas hidrográficas la aportación de nitrógeno de origen difuso representa más del 50% del N total de la cuenca. Es por ello, por lo que muchos países se han visto obligados a iniciar cambios en su ordenamiento legislativo, configurando normativas que regulen las explotaciones agrícolas y ganaderas, así como la eliminación de los residuos ganaderos. No obstante, existen importantes diferencias entre los países desarrollados y los no desarrollados. Por ejemplo, los primeros en la década 1990-2000 disminuyeron el consumo de fertilizantes a un ritmo medio del 2,3% anual, mientras que los segundos (los no desarrollados) incrementaron el consumo de los mismos una media de 4,5% al año. Un ejemplo alarmante lo constituye Argentina con un incremento del 27% anual (según la

FAO). Sólo en algunos de los países más desarrollados se realiza una aplicación "sostenible" de los fertilizantes en las actividades agrícolas.

## 4.5.5 Emisiones atmosféricas.

Las emisoras consideradas incluyen fuentes estacionarias, como las plantas industriales; fuentes áreas, como las pequeñas industrias; fuentes móviles vehiculares y no vehiculares, como los automóviles y la maquinaria agrícola, y recursos naturales, como los volcanes.

En este sentido, son de grave preocupación las emisiones fugitivas, emitidas como resultado de fisuras, evaporación de sustancias contaminantes en procesos industriales y el viento, y que no quedan atrapadas en los sistemas de captura. De acuerdo con las leyes estadounidenses, las empresas deben reportar estas emisiones fugitivas, que pueden representar hasta la mitad de las emisiones totales.

De acuerdo a un análisis de emisiones atmosféricas por sectores industriales, el INE (Instituto Nacional de Ecología) publicó en Montreal, el 18 de septiembre del 2006, con el respaldo de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte y organizaciones aliadas en Estados Unidos, su primer inventario nacional de emisiones atmosféricas. En este inventario se incluye, por vez primera, información detallada de las emisiones atmosféricas de los 32 estados y los 2,443 municipios de México para seis contaminantes: óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono y amoniaco, así como partículas suspendidas, causantes del smog (Mezcla de niebla con partículas de humo, formada cuando el grado de humedad en la atmósfera es alto y el aire está tan quieto que el humo se acumula cerca de su fuente) y otros tipos de contaminación atmosférica. En el inventario se usa información correspondiente a 1999 para cinco tipos de fuentes: fijas (por ejemplo, plantas industriales), de área (incluidas pequeñas industrias y

servicios), vehículos automotores que circulan en caminos o carreteras, fuentes móviles que no suelen circular por carreteras (maquinaria agrícola y equipo de construcción) y fuentes naturales (por ejemplo, volcanes y vegetación).

#### 4.5.6 Fuentes especiales.

Una fuente especial que aporta metales pesados, es el caso de la corrosión del hierro, que ocurre cuando la oxidación atmosférica provoca disolución del hierro en presencia de la humedad, la cual actúa como un electrolito.

El tributil estaño ( $C_{12}H_{27}SnX$ ), sustancia química utilizada en las perforaciones petroleras, es extremadamente tóxico y ha causado daños severos a las pesquerías del ostión en Inglaterra y Francia. Debido a la falta de información es difícil evaluar que sea o no un contaminante problema en el Golfo de México pero habiéndose encontrado niveles elevados de este compuesto en el tejido de ostión de Galveston bay, Texas, se supone la necesidad de una evaluación urgente en la región (Mee *et al.*, 1989).

#### 4.6 Delimitación del problema.

En México se ha incrementado el aprovechamiento de los moluscos y, según la Secretaría de Pesca, para 1997 la captura total fue de 94 187 toneladas; entre éstos destacan los ostiones, almejas, calamares, pulpos, caracoles y abulones (Cuadro 7).

# Tesis de Maestría

**Cuadro 7.** Captura de las principales especies de moluscos en México (1997).

<i>Especie</i>	<i>Toneladas</i>
Ostión	56 118
Almejas	20 684
Pulpo	8 346
Caracol	5 185
Otros	3 854
<b>TOTAL</b>	<b>94 187</b>

Fuente: Secretaría de Pesca.

Se tiene que subrayar que nuestro país presenta condiciones muy favorables para el aprovechamiento de los moluscos ya que éstos se localizan fundamentalmente en zonas litorales cubriendo la plataforma continental, así como en aguas salobres de lagunas litorales y esteros y algunos en aguas dulces interiores. México presenta 11 mil kilómetros de litoral, 2 892 000 kilómetros cuadrados de plataforma continental a lo largo de su mar patrimonial, medido en 200 millas náuticas (370 kilómetros) a partir de la línea de costa, y 1 500 000 hectáreas de lagunas litorales y estero.

Según la FAO para 1998 en México, es el ostión (*Crassostrea virginica*) el que representa el 45% de la producción total del país.

Sin embargo, uno de los problemas que enfrenta México para el aprovechamiento racional de los moluscos de interés comercial, es la falta de estudios sobre este importante grupo de animales. Mundialmente es aprovechada una gran diversidad de moluscos para la alimentación humana.

El ostión es una de las especies que, por legislación, está reservada a las sociedades cooperativas de producción pesquera, formadas por pescadores originarios de las zonas. En el litoral del Pacífico mexicano operan 51 cooperativas

# Tesis de Maestría

con 6 318 socios y, en el Golfo de México existen 35 cooperativas con 5 074 socios; lo que producen permite atender el consumo interno.

La producción de estas cooperativas es controlada con la Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados, establece como Contaminación por metales pesados las especificaciones de límite máximo en  $\text{mg kg}^{-1}$  para los siguientes metales:

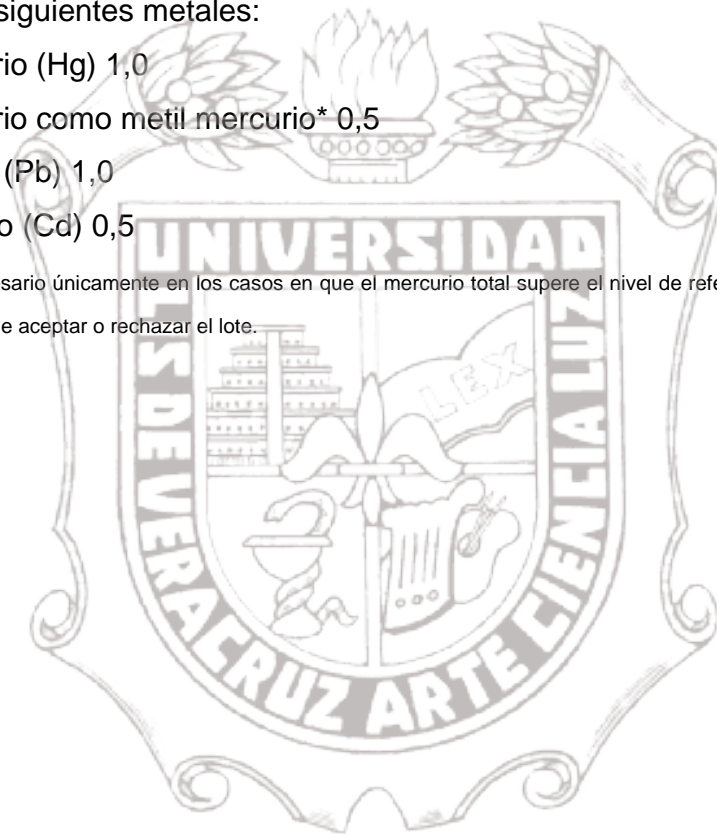
Mercurio (Hg) 1,0

Mercurio como metil mercurio\* 0,5

Plomo (Pb) 1,0

Cadmio (Cd) 0,5

\* Es necesario únicamente en los casos en que el mercurio total supere el nivel de referencia establecido, con la finalidad de aceptar o rechazar el lote.



## V. OBJETIVOS.

### General.

Determinar durante un ciclo anual los niveles en la concentración de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) y sedimento en los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha, Veracruz.

### Específicos.

1. Determinar la concentración espacial y temporal durante un ciclo anual de la concentración de metales pesados en el tejido del ostión *Crassostrea virginica* en los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha.
2. Determinar la concentración espacial y temporal durante un ciclo anual de la concentración de metales pesados en los sedimentos de los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha.
3. Determinar las principales variables ambientales y sus fluctuaciones espaciales y/o estacionales que influyen la presencia y concentración de los metales pesados en el tejido del ostión *Crassostrea virginica* y en los sedimentos de los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha.

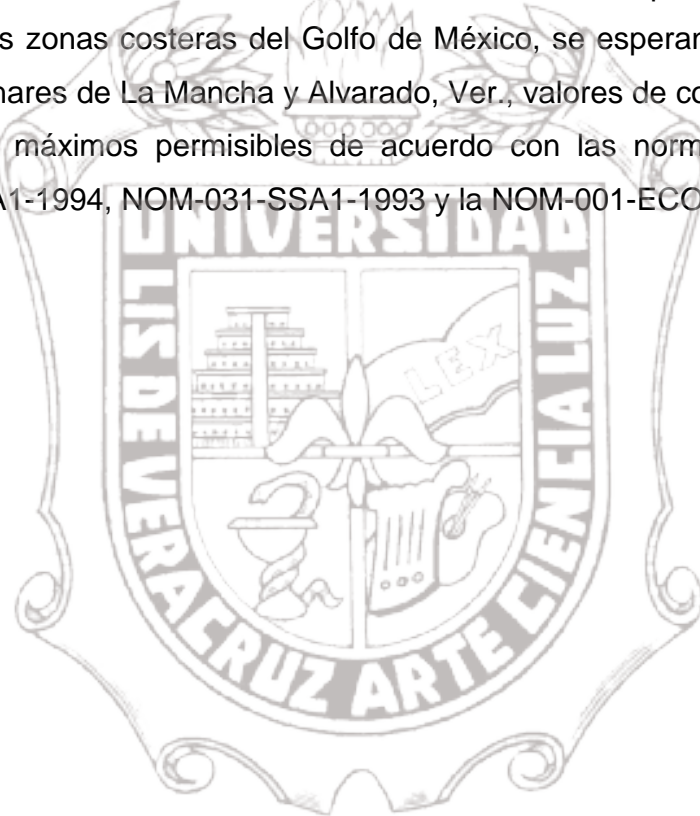


# Tesis de Maestría

## VI. HIPÓTESIS.

En México también se ha incrementado el aprovechamiento de los moluscos y, según la Secretaría de Pesca, como ejemplo para 1997 la captura total fue de 94 187 toneladas; entre éstos destacan los ostiones, almejas, calamares, pulpos, caracoles y abulones (SAGARPA, 2000).

En base a los estudios existentes relacionados con la presencia de metales pesados en las zonas costeras del Golfo de México, se esperan encontrar en los sistemas lagunares de La Mancha y Alvarado, Ver., valores de concentración fuera de los límites máximos permisibles de acuerdo con las normas de salubridad NOM-117-SSA1-1994, NOM-031-SSA1-1993 y la NOM-001-ECOL-1996.



## VII. METODOLOGÍA.

### 7.1 Selección de las zonas de muestreo.

Se realizó una visita de prospección a las áreas de estudio con el objetivo de establecer preliminarmente las características fisiográficas de la zona, el tipo de actividades productivas y la incidencia de asentamientos humanos con posible influencia en la zona y se determinaron los tiempos de desplazamiento dentro de cada ecosistema para prever el tiempo que tomaría realizar cada monitoreo.

Sedimento: al finalizar la visita de prospección en el sistema lagunar Alvarado, se asignó un número de estaciones de muestreo para cubrir cada uno de los ecosistemas y se estableció para este sistema 35 estaciones (Figura 7), posteriormente se diseñó la cronología de muestreo de sedimentos mostrado en el Cuadro 8.

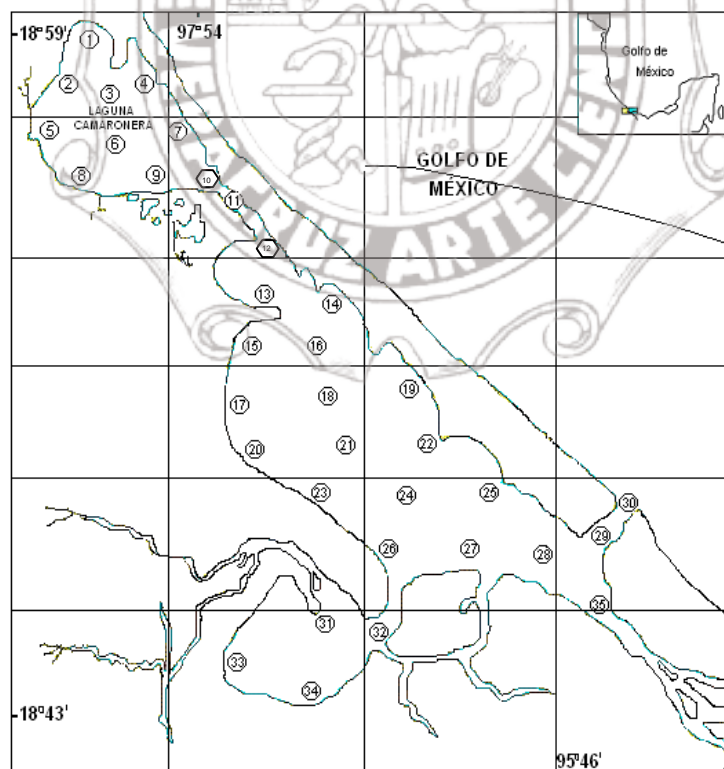


Figura 7. Estaciones asignadas en el Sistema Lagunar de Alvarado, Ver.

**Cuadro 8.** Cronología de muestreo de organismos y sedimentos en el sistema lagunar Alvarado, Ver.

Mes de muestreo	Estaciones de sedimentos muestreadas	Estaciones de ostión muestreadas
Junio	1 a la 35	E-10 y E-12
Julio	1 a la 35	E-10 y E-12
Agosto	1 a la 35	E-10 y E-12
Septiembre	1 a la 35	E-10 y E-12
Octubre	1 a la 35	E-10 y E-12
Noviembre	1 a la 35	E-10 y E-12
Diciembre	1 a la 35	E-10 y E-12
Enero	1 a la 35	E-10 y E-12
Febrero	1 a la 35	E-10 y E-12
Marzo	1 a la 35	E-10 y E-12
Abril	1 a la 35	E-10 y E-12
Mayo	1 a la 35	E-10 y E-12
Junio	1 a la 35	E-10 y E-12

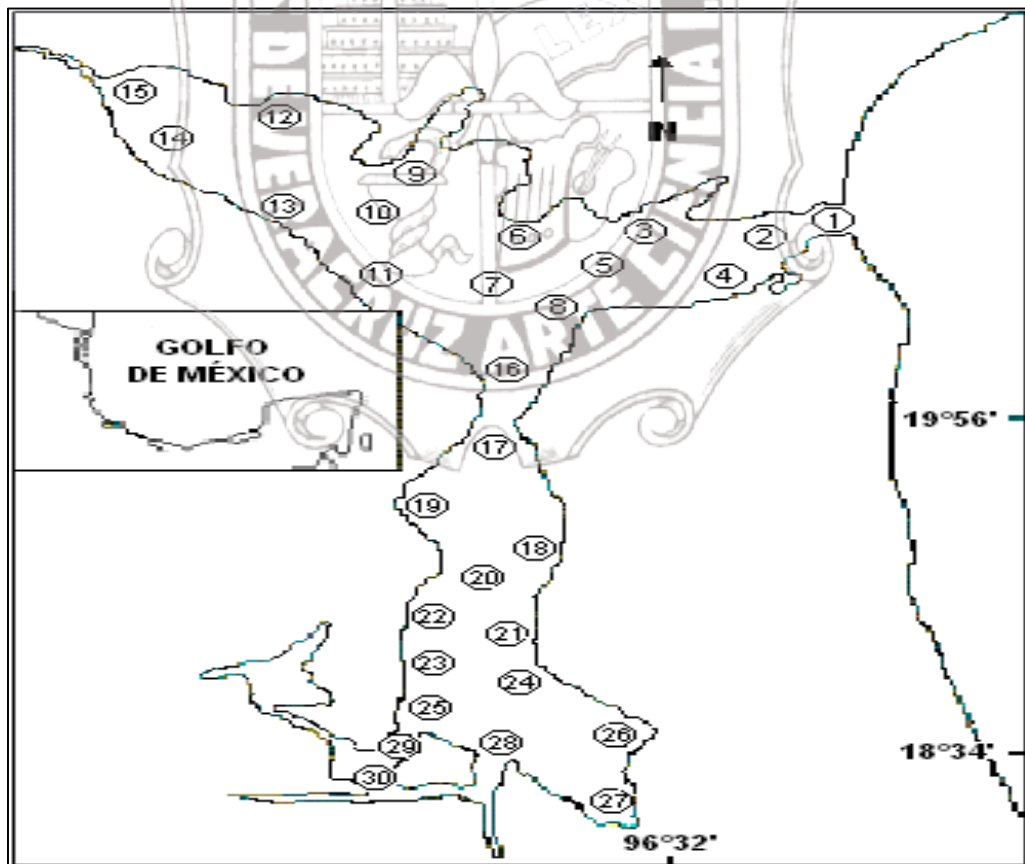
Posteriormente se realizó una zonificación de acuerdo a los distintos transeptos para obtener una muestra representativa (cuadro 9).

Al finalizar la visita de prospección en el sistema lagunar de La Mancha, se asignó un número de estaciones de muestreo para cubrir cada uno de los ecosistemas y se estableció para este sistema 30 estaciones (Figura 8), posteriormente se diseñó la cronología de muestreo de sedimentos y la zonificación de acuerdo a los distintos transeptos para obtener una muestra representativa. Ver cuadros 10 y 11.

# Tesis de Maestría

**Cuadro 9.** Numero de zonas y muestras combinadas para el sistema lagunar Alvarado, Ver.

NUMERO DE ZONAS	ESTACIONES QUE LA COMPONEN
1	1,2,3,4
2	5,6,7,8,9
3	10,11
4	12,13,15,19
5	17,18,20,21
6	19,22
7	23
8	24,25,26,27
9	28,29,30
10	35



**Figura 8.** Estaciones asignadas en el Sistema Lagunar de La Mancha, Ver.

# Tesis de Maestría

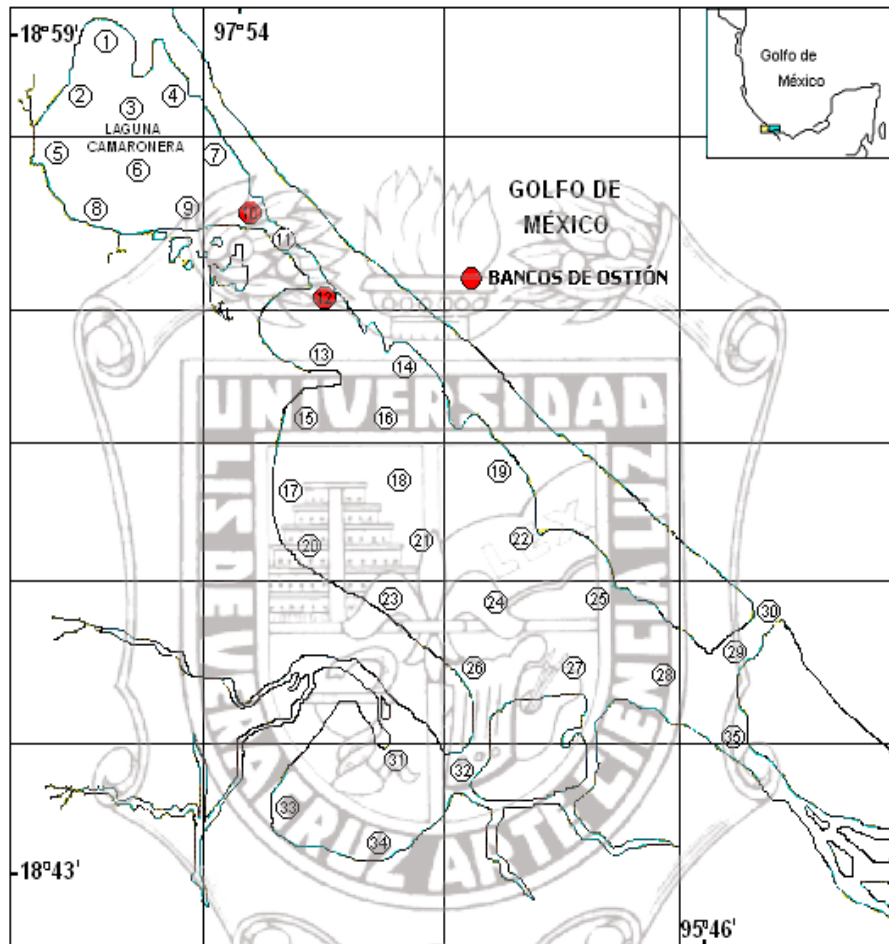
**Cuadro 10.** Numero de zonas y muestras combinadas para el sistema lagunar de La Mancha, Ver.

Mes de muestreo	Estaciones de sedimentos muestreadas	Estaciones de ostión muestreadas
Junio	1 a la 30	E-23
Julio	1 a la 30	E-23
Agosto	1 a la 30	E-23
Septiembre	1 a la 30	E-23
Octubre	1 a la 30	E-23
Noviembre	1 a la 30	E-23
Diciembre	1 a la 30	E-23
Enero	1 a la 30	E-23
Febrero	1 a la 30	E-23
Marzo	1 a la 30	E-23
Abril	1 a la 30	E-23
Mayo	1 a la 30	E-23
Junio	1 a la 30	E-23

**Cuadro 11.** Numero de zonas y muestras combinadas para el sistema lagunar La Mancha, Ver.

NUMERO DE ZONAS	ESTACIONES QUE LA COMPONEN
1	1,2,3
2	4
3	5,6, 9, 10
4	7, 8, 11, 16
5	12, 13, 14, 15
6	17, 18, 19
7	20
8	21, 23, 24
9	26, 27, 28
10	29, 30

Ostion: Al finalizar la visita de prospección en los dos sistemas lagunares, se ubicó a los bancos de ostion en cada uno y se localizó para Alvarado dos bancos: E-10 y E-12; para La Mancha un banco: E-23. Figuras 9 y 10.



**Figura 9.** Ubicación de los bancos de ostion en el Sistema Lagunar de Alvarado, Ver.

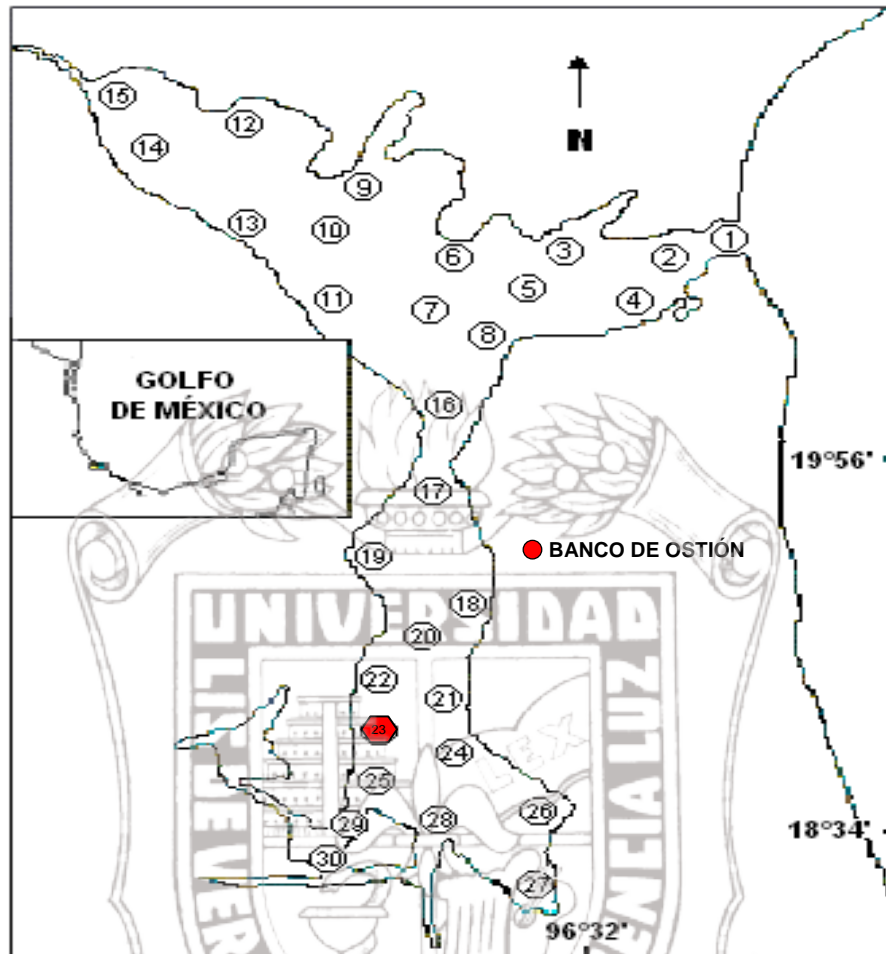


Figura 10. Ubicación del banco de ostión en el Sistema Lagunar La Mancha, Ver.

## 7.2 Muestreo.

Sedimento: con una embarcación menor (lancha con motor fuera de borda de 75 HP) se recorrieron los puntos de muestreo. Al estacionar la embarcación sobre el punto, se realizó la toma de muestra, por buceo libre recolectando sedimentos. La recolección de sedimentos fue realizada por medio de una draga Van Been (Figura 11) de acero inoxidable de 2 L de capacidad. La muestra de sedimento se tomó con una cuchara de plástico, procurando tomar la muestra separada un centímetro de las paredes metálicas de la draga, esto con el fin de evitar interferencias con los resultados.



**Figura 11.** Draga Van Been.

Ostión: con el auxilio de una embarcación menor (lancha con motor fuera de borda de 75 HP) se recorrieron los puntos de muestreo fijados de antemano. Al estacionar la embarcación sobre el punto, se realizó la toma de muestra, por buceo libre. La recolección de organismos (ostión) fue realizada manualmente, los organismos fueron seleccionados de talla comercial  $7 \pm 2$  cm y colocados en bolsas de polietileno.

Tanto las muestras de ostión como de sedimento, se etiquetaron con fecha, hora y zona de colecta para el control de los datos, se colocaron en recipientes de plástico con tapa con capacidad de 1 litro. Se transportaron al laboratorio de investigación del Instituto Tecnológico de Boca del Río (antes ITMAR01) en una hielera con capacidad para 40 envases a temperatura de  $4 \pm 2^\circ$  C. Para la conservación de las muestras en laboratorio se llevaron a congelación en refrigeradores marca So-Low Environmental Equipment modelo Ultra-Low Freezer Y



Termo Forma modelo –86C Ult Freezer a temperaturas de  $\pm 5$  °C para su posterior tratamiento y evaluación.

### 7.3 Registro de variables fisicoquímicas

Se evaluaron algunas variables fisicoquímicas *in situ* de ambas zonas de captura (pH, temperatura y salinidad) durante la colecta de los sedimentos mediante una sonda multiparámetros marca YSI 6600 a una profundidad de acuerdo a la longitud del cable del equipo (1 metro aprox.).

### 7.4 Preparación de las muestras para su análisis en laboratorio.

Una vez en el laboratorio, los ostiones obtenidos de ambas zonas de estudio se identificaron, seleccionando sólo los organismos de la especie *Crassostrea virginica* de talla uniforme, los cuales se pesaron en balanza digital Ohaus Ga200 y se determinó la talla (longitud total) mediante una regla de plástico desde (talla promedio de  $7 \pm 2$  cm). Los organismos se diseccionaron para obtener muestras compuestas de la parte media del músculo (40 g aprox.), las cuales se colocaron en bolsas de plástico para su mantenimiento en un ultracongelador a temperatura de -40 °C hasta su deshidratación.

De los sedimentos de ambas zonas de estudio se pesaron 100 g los cuales se almacenaron de la misma manera que las muestras de ostión. Una vez obtenidas todas las muestras de ostión y sedimentos de ambas zonas y de todos los meses de muestreo, se prosiguió con la deshidratación.

#### 7.4.1 Deshidratación de las muestras de ostión y sedimentos.

Las muestras congeladas de ostión y sedimentos fueron deshidratadas por separado en un liofilizador marca ThermoSavant Modulyod-114 durante 72 horas a -49 °C y  $36 \times 10^{-3}$  mbar. Una vez secas las muestras de ostión se molieron con

un mortero de porcelana y se colocaron en bolsas de plástico para su almacenamiento dentro de un desecador con sílica gel hasta su digestión, mientras que las muestras deshidratadas de sedimento se molieron con un mortero de porcelana. Las muestras molidas de ambas matrices se almacenaron por separado en un desecador con sílica gel hasta su digestión. El total de muestras secadas fue de 321 muestras de sedimentos del sistema lagunar La Mancha, 271 muestras del sistema lagunar Alvarado y 41 muestras de ostión.

Con la finalidad de obtener una representatividad de las muestras almacenadas, se realizó lo que se conoce como muestra compuesta, esta se realizó de acuerdo a la zonificación, se tomo un gramo de muestra de cada una de las estaciones que componen un transepto y se homogeneizó, de esta combinación se extrajo la muestra a analizar.

El total de las muestras compuestas de organismos fueron: 26 del sistema lagunar Alvarado y 15 del sistema lagunar La Mancha; el total de las muestras compuestas de sedimentos fueron: 63 del sistema lagunar Alvarado y 103 del sistema lagunar La Mancha.

#### **7.4.2 Digestión de las muestras de ostión y sedimentos**

La digestión de las muestras de ostión se realizó mediante el método de preparación para la digestión de muestras de alimentos por vía húmeda, referida en la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, "Bienes y servicios método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc, y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por Espectrofotometría de absorción atómica" y la 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.

Se tomaron alícuotas de la muestra (1 g aprox.) y se llevo a cabo la digestión en vaso de precipitado con 10 mL de ácido nítrico concentrado en una parrilla con agitación, una, de marca Thermolyne modelo Climarec y una, de

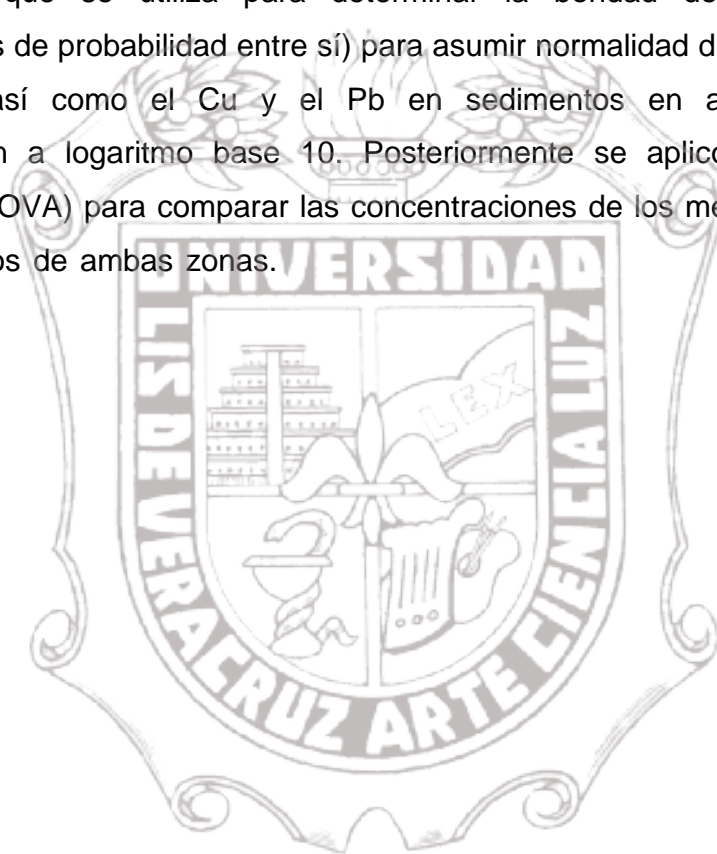
marca Lindberg modelo Agitherm, se tapó cada vaso con vidrio de reloj, utilizando una campana de extracción. Para eliminar la contaminación durante el proceso de digestión, se corrieron blancos representativos con el mismo volumen y concentración del reactivo utilizado (1 por cada 10 muestras digeridas). Se elevó la temperatura lentamente de la parrilla y se mantuvo hasta que los vapores de  $\text{NO}_2$  cesaron de emanar (2 – 3 horas). Cuando el ácido se evaporó hasta aproximadamente la mitad del contenido se retiró la muestra de la parrilla y se dejó enfriar (aprox. 30 min.) se agregó gota a gota con agitación continua 5 mL de peróxido de hidrógeno y se cubrió el vaso con el vidrio de reloj, la muestra tomó una coloración naranja o amarilla. Se continuó la digestión (evitando se secase la muestra) hasta una coloración amarillo claro. Las muestras ya digeridas se filtraron con membrana fluoropore de 0.45  $\mu\text{m}$  en matraces kitasato con bomba de vacío. Posteriormente se diluyeron en un matraz aforado a un volumen de 50 mL con agua desionizada y se transfirieron a frascos de polipropileno para su posterior análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica.

## 7.5 Análisis de metales

Los metales pesados se analizaron con un equipo de espectrofotometría de absorción atómica Perkin-Elmer modelo Analyst 700, de acuerdo con las especificaciones de operación del fabricante y la Norma Oficial Mexicana (NOM-117-SSA1-1994). La absorbancia es medida como altura de pico, en triplicado solo en cantidades de detección mínimas. Se prepararon soluciones standard al 0.2, 0.5 y 1.0 ppm para establecer la curva de calibración del espectrofotómetro. Se corrieron los blancos de muestra. Se realizó la lectura.

## 7.6 Análisis estadístico

El resultado de las lecturas de las concentraciones de los metales pesados en el tejido del ostión y en sedimentos de los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha, Ver., se sometieron a prueba de Lilliefors (misma que conlleva algunas mejoras con respecto a la de Kolmogórov-Smirnov, que es una prueba no paramétrica que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí) para asumir normalidad de los datos. El Pb en ostión, así como el Cu y el Pb en sedimentos en ambas zonas se transformaron a logaritmo base 10. Posteriormente se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las concentraciones de los metales en ostión y en sedimentos de ambas zonas.



VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

8.1 Concentración de metales pesados en el sedimento.

Para buscar cual es el área con mayor contaminación por metales pesados y debido a la amplia extensión del sistema lagunar de Alvarado, Ver., este se dividió en tres áreas de estudio: alta (a), media (m) y baja (b), ver la figura 12. En el cuadro 12 se indican las zonas que conforman cada área.

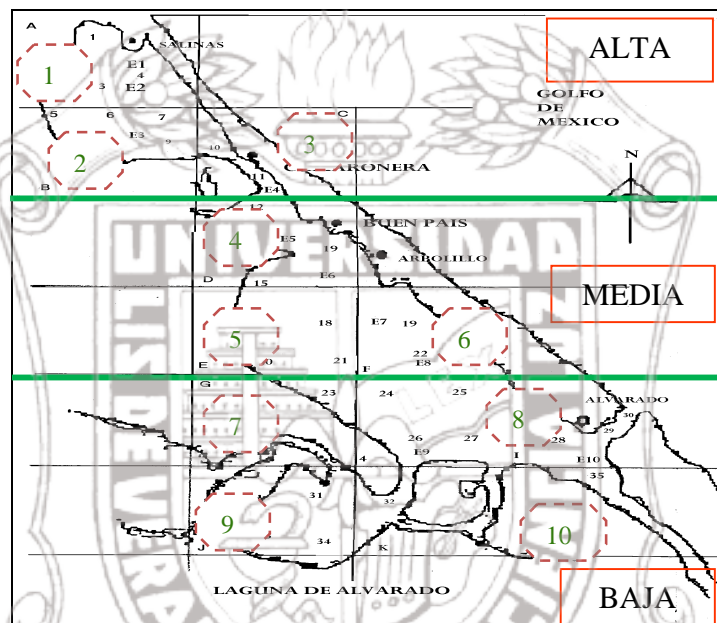


Figura 12. Ubicación de las aéreas alta (a), media (m) y baja (b).

Cuadro 12. Divisiones del área de estudio y zonas que la conforman.

DIVISIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO	ZONAS QUE LA CONFORMAN
Alta (a)	1,2 y 3
Media (m)	4,5 y 6
Baja (b)	7,8,9 y10

El Anova realizado, con los resultados de laboratorio, entre temporadas, estaciones y, una combinación entre temporadas y estación, dio como resultado que ninguno de los elementos estudiados presentó diferencia significativa entre ellos.

A diferencia del estudio realizado para las temporadas de estiaje, lluvias e invernal, se observó que las más altas concentraciones de los metales Cd, Cu, Al, Pb, se presentan en la época de lluvias y las menores concentraciones en la época invernal, no así para el Zn que reportó su más alta concentración en la época de estiaje y la menor concentración en la época invernal (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Resultado del Anova (Modelo Mixto) Para cada uno de los elementos evaluados en el sedimento del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz.

FUENTES DE VARIACION	G.L*	Cu	Cd	Zn	Pb	Al
TEMPORADA	2	0.49	0.11	0.52	0.005	0.05
ESTACION	8	0.20	0.98	0.40	0.21	0.26
TEM / ESTAC.	16	0.88	0.96	0.85	0.99	0.59
ERROR	69					
TOTAL	95					

\* Grados de libertad.

De acuerdo al estudio mixto realizado para las tres divisiones de la zona de estudio, en la zona centro se registraron las mayores concentraciones de metales pesados, sin embargo en la zona baja se registraron las menores concentraciones. Excepto para el caso del aluminio donde la zona más contaminada es la zona alta. Este estudio fue evaluado estadísticamente utilizando el método Mixto.

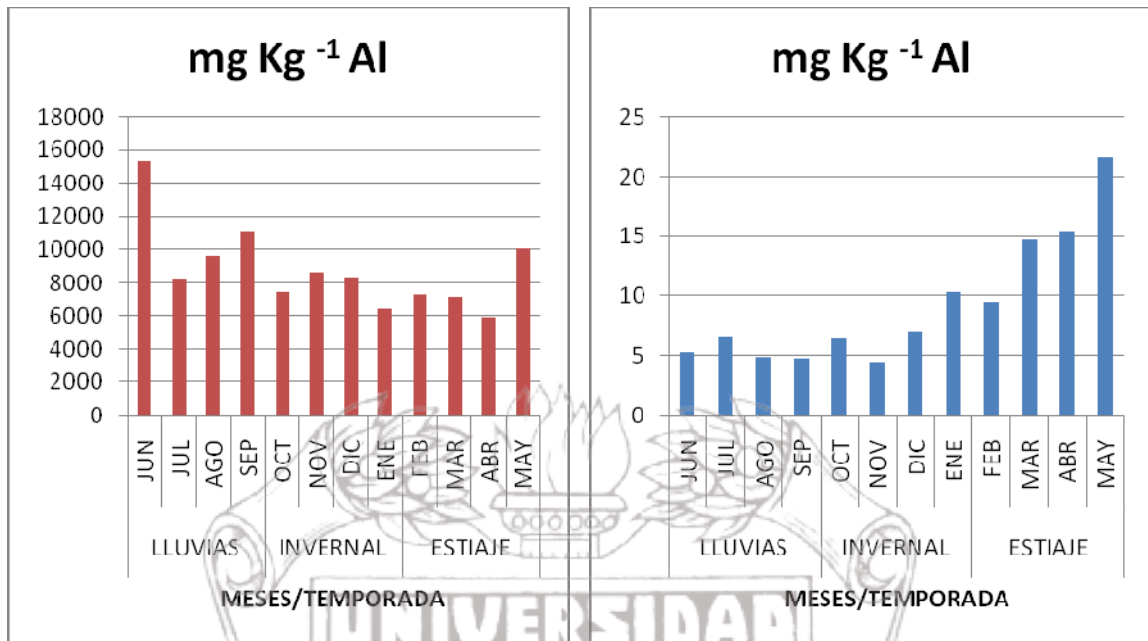
# Tesis de Maestría

**Cuadro 14.** Concentraciones de metales pesados (Al, Cd, Cu, Pb, y Zn,) encontradas en sedimento del sistema Lagunar de Alvarado Ver., durante un periodo anual.

MESES/TEMPORADA		Al	Cd	Cu	Pb	Zn
LLUVIAS	JUN	15384	1.7	9.8	37.7	16.9
	JUL	8226	0.6	7.5	26.9	12.8
	AGO	9607	1.1	8.1	27.7	33.4
INVERNAL	SEP	11168	1.1	7.0	22.4	12.7
	OCT	7465	0.6	6.0	22.6	12.0
	NOV	8650	0.7	8.0	32.3	12.0
	DIC	8278	0.6	8.0	24.1	10.1
ESTIAJE	ENE	6479	0.6	6.0	20.7	8.5
	FEB	7298	0.4	5.6	25.6	8.7
	MAR	7141	0.5	5.7	49.0	6.4
	ABR	5928	0.3	3.8	13.4	4.7
	MAY	10109	0.6	8.5	31.6	11.0

**Cuadro 15.** Concentraciones de metales pesados (Al, Cd, Cu, Pb, y Zn,) encontradas en sedimento del sistema Lagunar La Mancha Ver., durante un periodo anual.

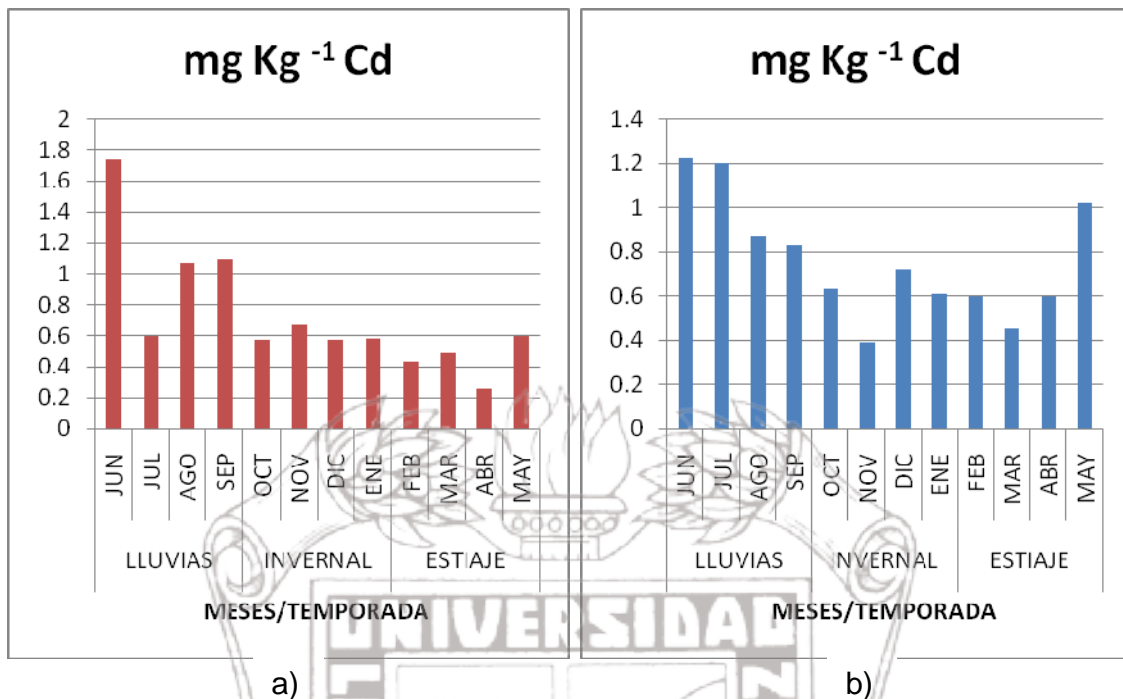
MESES/TEMPORADA		Al	Cd	Cu	Pb	Zn
LLUVIAS	JUN	5.4	1.2	25.0	20.9	23.0
	JUL	6.6	1.2	24.3	23.2	29.6
	AGO	5.0	0.9	25.0	22.2	29.5
	SEP	4.8	0.8	21.0	20.9	29.7
INVERNAL	OCT	6.5	0.6	21.0	16.9	27.7
	NOV	4.5	0.4	19.5	11.7	25.5
	DIC	7.0	0.7	24.3	11.5	18.7
	ENE	10.4	0.6	24.0	11.8	30.0
ESTIAJE	FEB	9.5	0.6	17.0	15.2	29.0
	MAR	14.8	0.5	18.2	20.5	32.1
	ABR	15.5	0.6	16.7	18.8	33.9
	MAY	21.7	1.0	27.0	18.8	35.5



a) b)  
**Figura 13.** Concentraciones de aluminio encontradas en sedimento del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

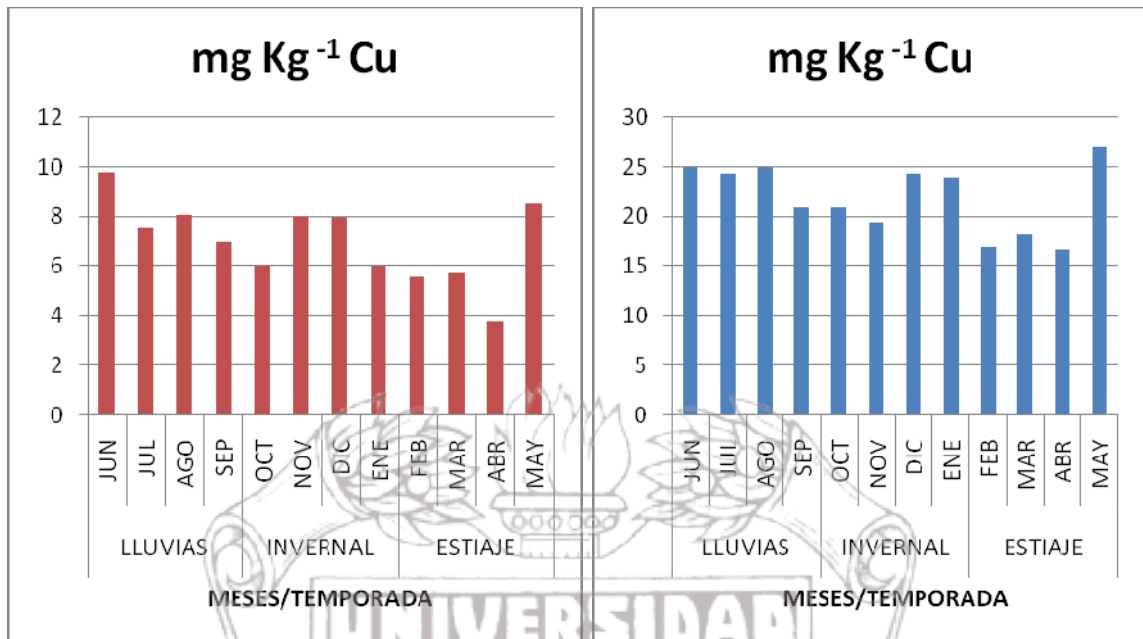
Aluminio, En la laguna de La Mancha se encontró valores altos de concentración de aluminio, con un promedio de 9560 mg Kg<sup>-1</sup>, registrándose el mayor incremento para el mes de mayo con 22 mg Kg<sup>-1</sup>, presentando una disminución en el mes de noviembre. En el sistema lagunar de Alvarado, se observa que el aluminio presentó máxima concentración en el período de lluvias y la menor concentración durante el estiaje con valores de 15384 mg Kg<sup>-1</sup> y 5928 mg Kg<sup>-1</sup> respectivamente.





**Figura 14.** Concentraciones de cadmio encontradas en sedimento del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

Cadmio, la concentración promedio de cadmio encontrada en La Mancha fue de 0.7636 mg Kg<sup>-1</sup>, siendo 1.2233 mg Kg<sup>-1</sup> la concentración más alta observada en el mes de junio y la más baja en el mes de noviembre: 0.398 mg Kg<sup>-1</sup>. El cadmio fue el que presentó menor concentración media de 1.738 mg Kg<sup>-1</sup> en el mes de junio para la laguna de Alvarado.

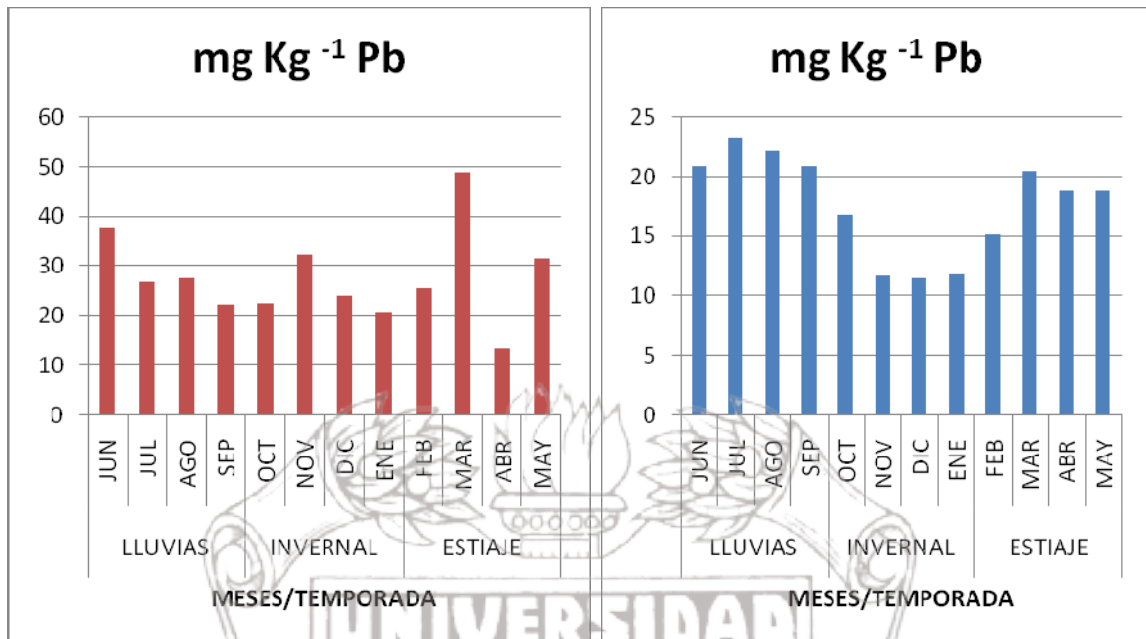


a)

b)

**Figura 15.** Concentraciones de cobre encontradas en sedimento del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

Cobre, en Alvarado no presentó variaciones significativas durante el periodo de muestreo con una concentración media de  $9.809 \text{ mg Kg}^{-1}$  en el mes de junio. Las concentraciones de cobre presentadas para el sistema lagunar de La Mancha indican una concentración media de  $21.839 \text{ mg Kg}^{-1}$ , presentando el valor más alto al final del estudio durante el mes de mayo:  $26.99 \text{ mg Kg}^{-1}$ , y el más bajo para el mes de abril  $16.72 \text{ mg Kg}^{-1}$  en el invierno.

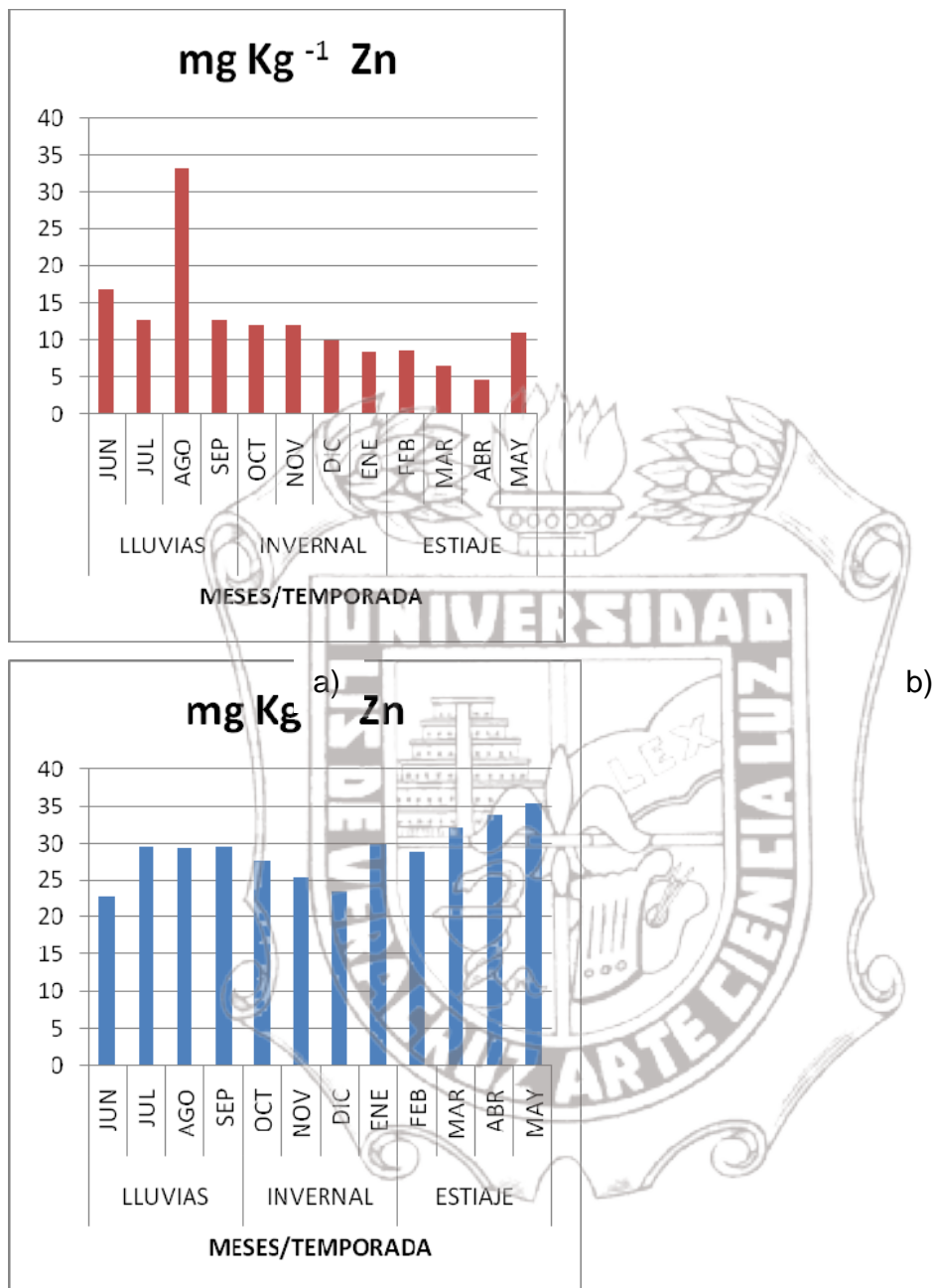


a)

b)

**Figura 16.** Concentraciones de plomo encontradas en sedimento del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

Plomo, el metal más abundante en la laguna de Alvarado fue el plomo con una concentración media de 49.009 mg Kg<sup>-1</sup>, para el mes de marzo, mientras que en La Mancha la concentración alcanza niveles importantes, observándose concentraciones de hasta 23.2433 mg Kg<sup>-1</sup> en temporada de lluvias y de 11.6902 mg Kg<sup>-1</sup> en el invierno, lo que indica un importante incremento.



**Figura 17.** Concentraciones de zinc encontradas en sedimento del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

Zinc, los valores máximos y mínimos en la laguna de La Mancha de zinc fueron 35.54 mg Kg<sup>-1</sup> y 22.96 mg Kg<sup>-1</sup> respectivamente, la concentración más

# Tesis de Maestría

elevadas se registro en época de secas y la menor en la temporada invernal, aunque sin mucha variación a lo largo del estudio. En la laguna de Alvarado el zinc presento concentración media de  $33.353 \text{ mg Kg}^{-1}$ , para el mes de agosto.

Los valores obtenidos durante un año de muestreo en sedimento de los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha, Ver., mostraron que, y según la división de zonas que se realizo en la laguna de Alvarado, la zona media es la más contaminada debido a la descarga de los ríos Papaloapan, el Camarón, el Blanco y el Acula.

La concentración de metales del sedimento del sistema lagunar La Mancha, mostro que el aluminio y el zinc alcanzan concentraciones elevadas en época de lluvias, mientras que las concentraciones de cadmio, cobre y plomo se elevan en época de estiaje. Los cambios ocurridos en este sistema se deben a actividades antropogénicas, las cuales han modificado totalmente los factores y parámetros ambientales como son: sedimentos, profundidad, salinidad, entre otros.

Según los estudios realizados por Luna *et al.* (2002), las concentraciones máximas de plomo en el agua de la laguna de La Mancha se reporta en el mes de septiembre con  $1.768 \text{ mg Kg}^{-1}$  y la mínima en enero con  $0.578 \text{ mg Kg}^{-1}$ ; mientras que la concentración máxima de plomo en sedimento reportada en ésta investigación es de  $23.24 \text{ mg Kg}^{-1}$ . y es difícil establecer cuál es el origen del plomo en esta laguna ya que esta tiene una afluencia de agua dulce marcadamente estacional, aunado a las emisiones atmosféricas provenientes de ingenios azucareros y una asfáltadora que se localiza a pocos kilómetros de este sistema lagunar; de igual manera es importante mencionar el papel que desempeña el gaseoducto que atraviesa la boca de la laguna que es importante en los procesos de contaminación o acumulación de material tóxico, al impedir que penetre eficazmente la corriente intermareal al sistema para diluir las concentraciones de metales.

# Tesis de Maestría

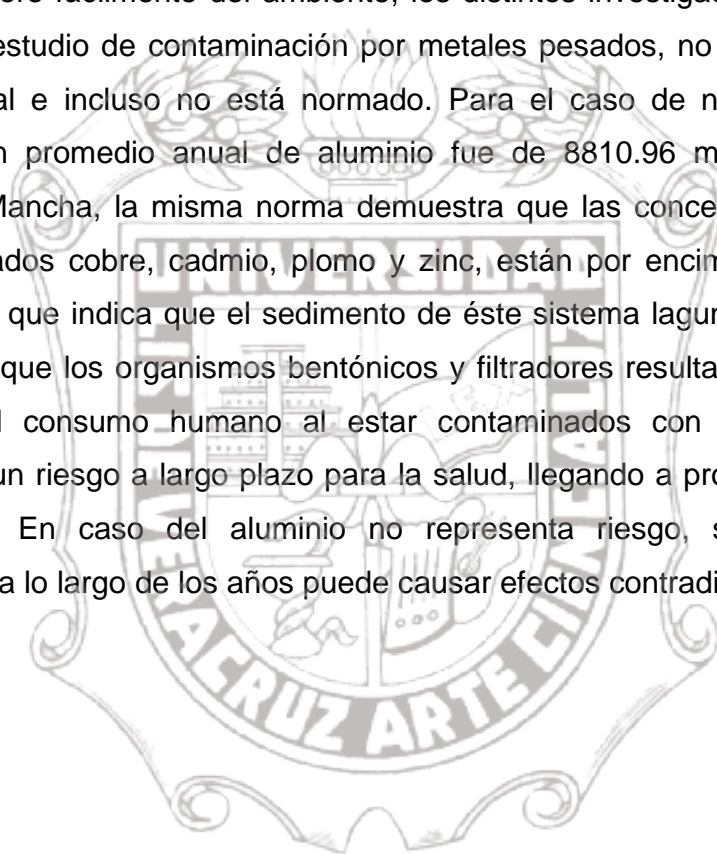
La concentración de los metales en la zona centro del complejo lagunar Alvarado puede deberse a que se comunica hacia el sur con la laguna de Tlalixcoyan y hacia el norte con la laguna camaronera y este complejo solo se conecta la mar mediante una boca situada en la posición noroeste y por un canal artificial que conecta la laguna camaronera con el mar en el extremo más estrecho de la barra arenosa.

Refiriendo los estudios realizados en la laguna de Alvarado por Rosas *et al.*, 1986 quien determino la concentración de los siguientes metales pesados: cobre, cromo, níquel, plomo y zinc, se comparo con nuestro estudio y se encontró que para el caso del cobre reportamos concentraciones mucho menores y del plomo se determino que la zona se encuentra más contaminada por este metal, que las reportadas por Rosas.

En trabajos realizados por Luna *et al.* (2002) en la laguna de La Mancha, reporta concentraciones máximas en *Crassostrea virginica* de 810.9 mg Kg<sup>-1</sup> en aluminio, 5.86 mg Kg<sup>-1</sup> en cadmio, 630.9 mg Kg<sup>-1</sup> en cobre y de 1204 mg Kg<sup>-1</sup> en zinc; mientras que en esta investigación encontramos concentraciones máximas en sedimento de 21.68 mg Kg<sup>-1</sup> para aluminio, 1.22 mg Kg<sup>-1</sup> en cadmio, 26.99 mg Kg<sup>-1</sup> en cobre y de 35.54 mg Kg<sup>-1</sup> en zinc. Estas concentraciones pueden deberse a que la barra de la laguna se ha abierto de manera intencional por los pescadores, además de las grandes cantidades de tierra que se depositan en las orillas de este sistema lagunar provocada por deslaves que fueron ocasionados cuando se abrió el paso para la vía del ferrocarril que corre paralela a la laguna, otro factor importante a considera son las descargas a la laguna por el caño Los Gallegos, el cual recolecta aguas de otros poblados cercanos; en el municipio de Actopan, además, son utilizados fertilizantes en los cultivos de la región (maíz, caña de azúcar, naranja y mango) que durante las lluvias son acarreados hacia el sistema lagunar debido a los deslaves que sufren las tierras de los alrededores, así como también influye en esta época el acarreo de los efluentes domésticos.

## Tesis de Maestría

De acuerdo a las concentraciones medidas en las dos zonas se determinó que para el sistema Alvarado, el cobre, cadmio, y plomo presentan concentraciones elevadas, rebasando los límites permisibles que establece la NOM-001-ECOL-1996, con excepción del zinc que fue el único de los metales que entra dentro de éstos límites y, por lo tanto se determino que la zona en estudio se encuentra altamente contaminada por estos metales. El aluminio, por ser un metal que se adquiere fácilmente del ambiente, los distintos investigadores que se han dedicado al estudio de contaminación por metales pesados, no realizan estudios de este metal e incluso no está normado. Para el caso de nuestro estudio la concentración promedio anual de aluminio fue de  $8810.96 \text{ mg Kg}^{-1}$ . Para el sistema La Mancha, la misma norma demuestra que las concentraciones de los metales pesados cobre, cadmio, plomo y zinc, están por encima de los valores normados; lo que indica que el sedimento de éste sistema lagunar representa un problema ya que los organismos bentónicos y filtradores resultan un producto no apto para el consumo humano al estar contaminados con estos elementos resultan ser un riesgo a largo plazo para la salud, llegando a provocar problemas en el riñón. En caso del aluminio no representa riesgo, sin embargo, su acumulación a lo largo de los años puede causar efectos contradictorios.



# Tesis de Maestría

Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana





## 8.2 Niveles de concentración de metales pesados en ostión.

**Cuadro 16.** Concentraciones de metales pesados (Al, Cd, Cu, Pb, y Zn,) encontradas en ostión del sistema Lagunar de Alvarado Ver., durante un periodo anual.

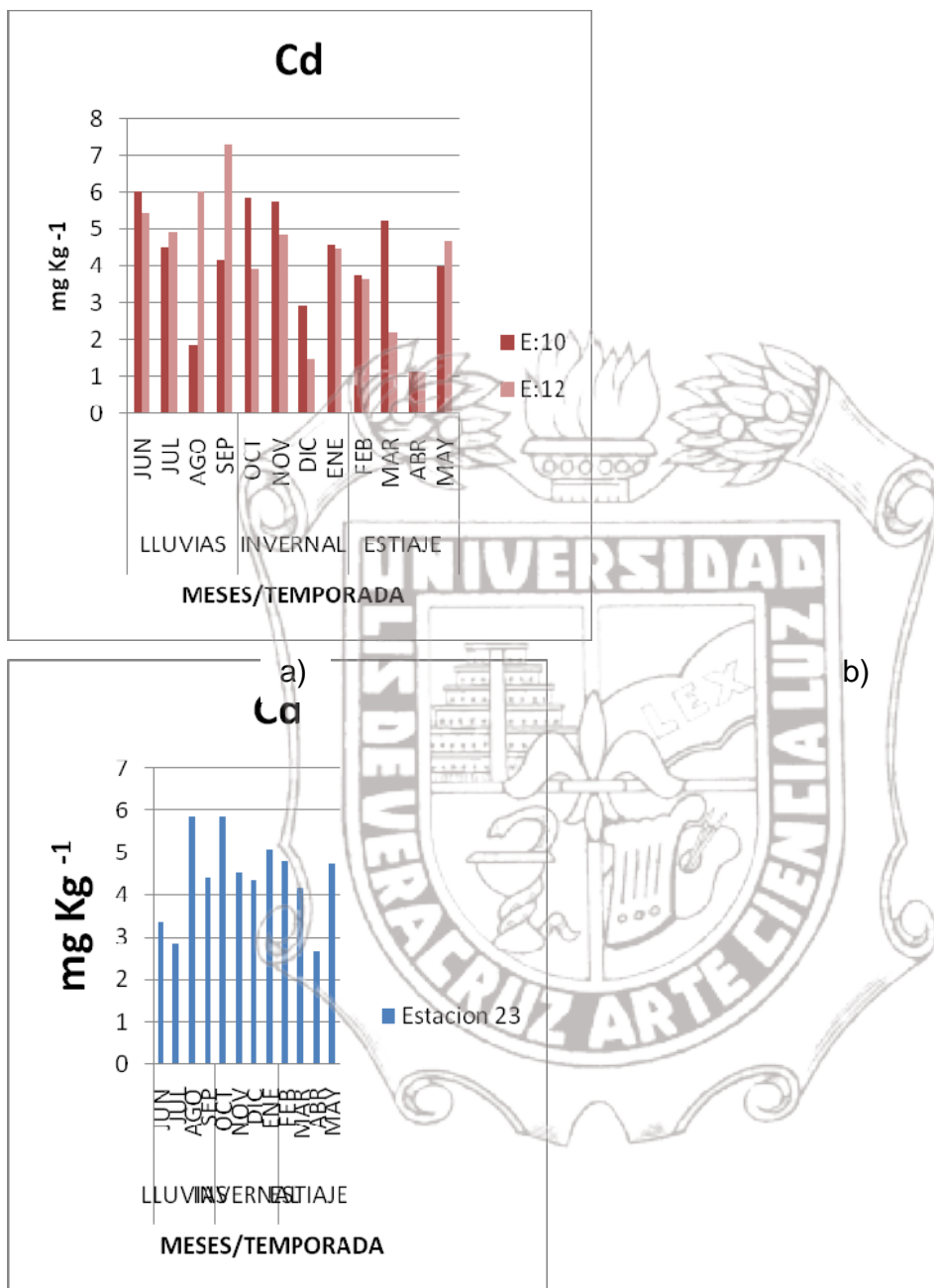
MESES/ TEMPORADA		Al		Cd		Cu		Pb		Zn	
		E:10	E:12	E:10	E:12	E:10	E:12	E:10	E:12	E:10	E:12
LLUVIAS	JUN	405.7	248.8	6.0	5.5	127.7	75.2	12.9	11.6	746.1	427.2
	JUL	173.7	386.0	4.5	4.9	83.0	146.9	10.6	5.8	492.9	675.3
	AGO	38.4	172.8	1.9	6.0	76.6	127.9	2.8	7.1	505.9	665.4
INVERNAL	SEP	88.6	92.0	4.2	7.3	146.9	87.9	5.7	5.7	668.4	433.7
	OCT	194.9	164.1	5.9	3.9	214.5	115.2	10.5	2.9	791.3	526.2
	NOV	242.9	237.2	5.8	4.9	131.1	121.3	4.4	3.5	683.9	485.2
ESTIAJE	DIC	597.9	445.8	3.0	1.5	102.0	73.9	6.8	5.6	556.0	383.2
	ENE	589.6	622.1	4.6	4.5	64.9	68.6	6.6	3.9	622.9	701.4
	FEB	804.6	820.2	3.8	3.7	125.5	123.5	8.3	3.9	730.1	730.1
	MAR	817.3	837.2	5.3	2.2	91.1	110.3	3.9	2.5	680.4	801.4
	ABR	915.7	927.9	1.1	1.1	102.4	94.7	3.9	3.9	836.9	838.9
	MAY	872.4	1332.0	4.0	4.7	106.6	62.9	2.7	4.9	640.7	987.9

**Cuadro 17.** Concentraciones de metales pesados (Al, Cd, Cu, Pb, y Zn,) encontradas en ostión del sistema Lagunar La Mancha Ver., durante un periodo anual.

MESES/ TEMPORADA		Al	Cd	Cu	Pb	Zn
		ESTACIÓN 23				
LLUVIAS	JUN	609.8	3.37	474.7	8.5	814.6
	JUL	139.6	2.87	329.7	4.5	1127
	AGO	513.8	5.86	355.2	2.5	1162
INVERNAL	SEP	177.3	4.43	351.9	7.2	1038
	OCT	810.9	5.86	270.8	2.7	846.5
	NOV	796.2	4.54	630.9	5.1	709.1
	DIC	710.4	4.35	219.8	7.0	872.2
ESTIAJE	ENE	710.2	5.10	110.6	9.4	1023
	FEB	422.7	4.79	583	9.3	1181
	MAR	566.5	4.18	206	7.9	1204
	ABR	769.7	2.67	455.8	5.7	1302
	MAY	249.7	4.75	792.4	5.4	971

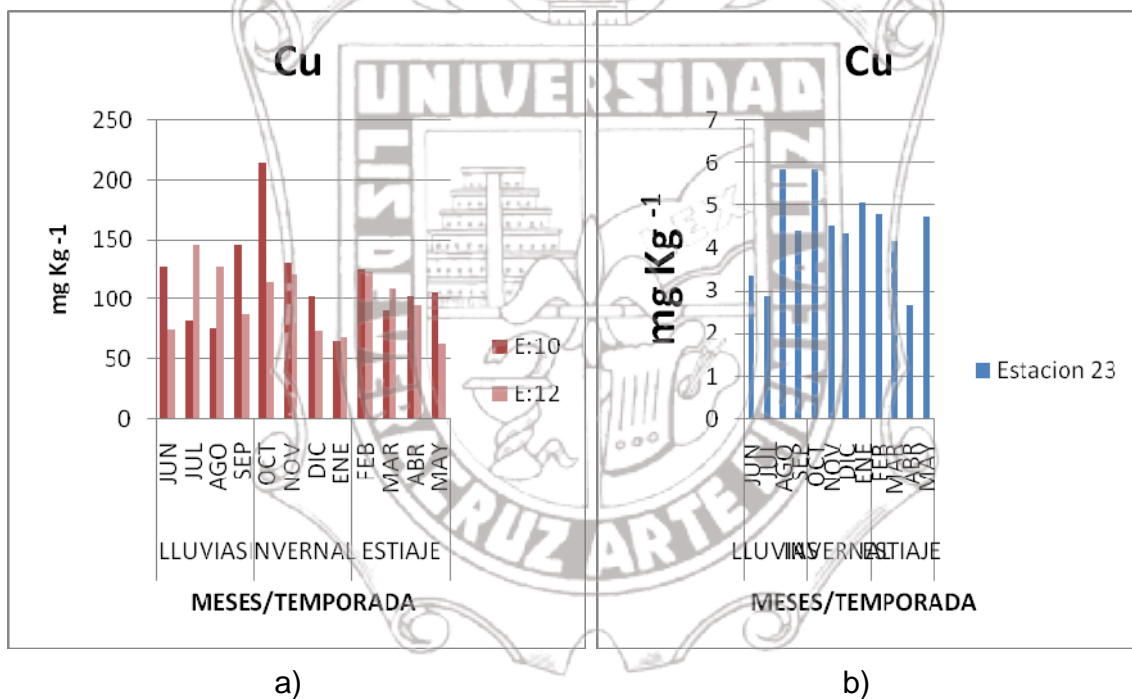
Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana





**Figura 19.** Concentraciones de cadmio encontradas en ostión del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

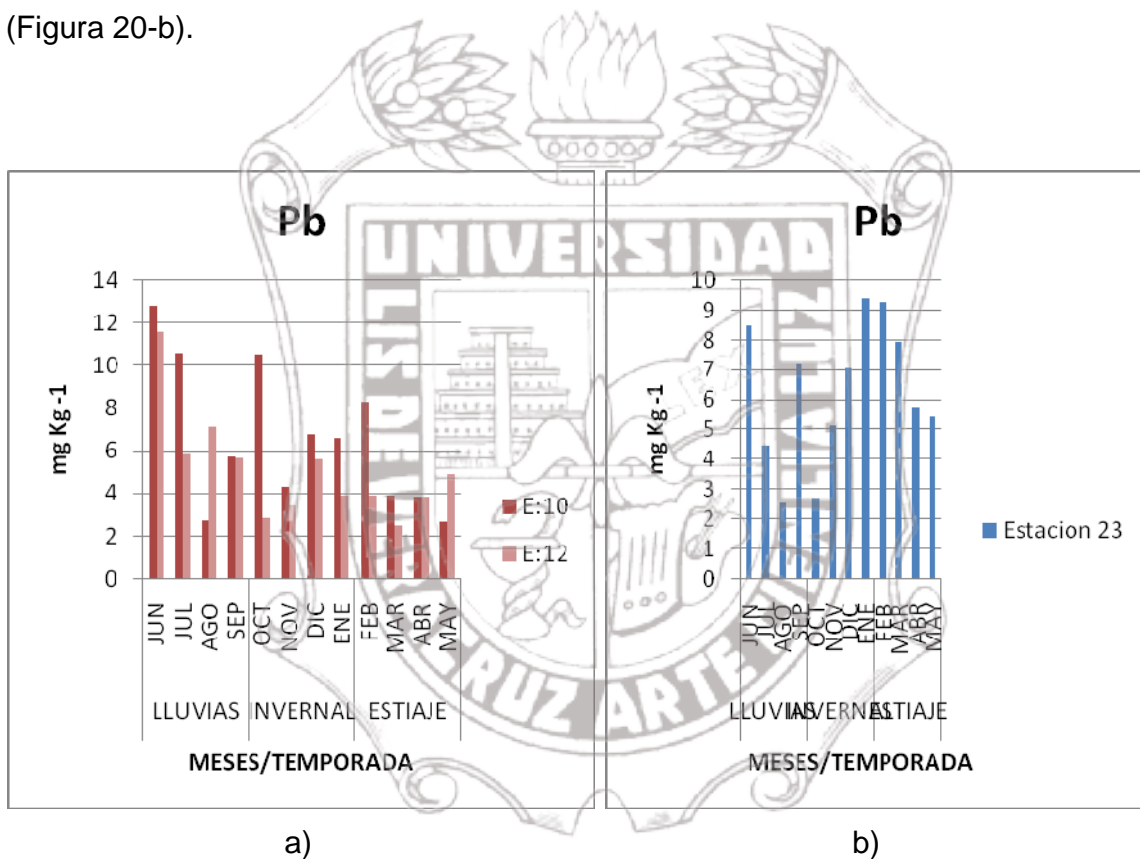
Cadmio, la concentración promedio de cadmio encontrada en el ostión de la laguna de Alvarado de la estación 10 fue de 3.89 mg Kg<sup>-1</sup>, siendo 6.02 mg Kg<sup>-1</sup> la concentración más alta observada en el mes de junio y la más baja en el mes de abril (1.126 mg Kg<sup>-1</sup>). Algo muy parecido ocurre en la estación 12 alcanzando concentraciones mayores en la temporada de lluvias, 7.28 mg Kg<sup>-1</sup> en el mes de septiembre y disminuye hasta 1.5 mg Kg<sup>-1</sup> en el mes de diciembre durante el invierno. Los organismos colectados en La Mancha La concentración promedio de cadmio encontrada en el banco 23 es de 4.40 mg Kg<sup>-1</sup>, siendo 5.863 mg Kg<sup>-1</sup> la concentración más alta observada en el mes de agosto y la más baja en el mes de abril 2.67 mg Kg<sup>-1</sup> (Figura 19-b).



**Figura 20.** Concentraciones de cobre encontradas en ostión del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

Cobre, los valores de cobre presentados para el ostión del sistema lagunar de Alvarado en la estación 10 indican una concentración media de 114.35 mg Kg<sup>-1</sup> mientras que para la estación 12 esta presentó 100.69 mg Kg<sup>-1</sup>. Se observó que las concentraciones más altas se encontraron al final de la temporada lluvias y

comienzo de la temporada invernal y concentraciones menores al final del periodo anual estudiado, en los meses de diciembre y enero que corresponde al final de la época invernal. Para los organismos colectados en La Mancha los valores de cobre presentados para el banco 23, fueron 792.4 mg Kg<sup>-1</sup>, el valor más alto en el mes de Mayo (794.4 mg Kg<sup>-1</sup>) que corresponde a la época de estiaje y de forma similar con Alvarado el comportamiento de las concentraciones tienen un alza hasta 631 mg Kg<sup>-1</sup> en el mes de noviembre que corresponde a la época invernal (Figura 20-b).



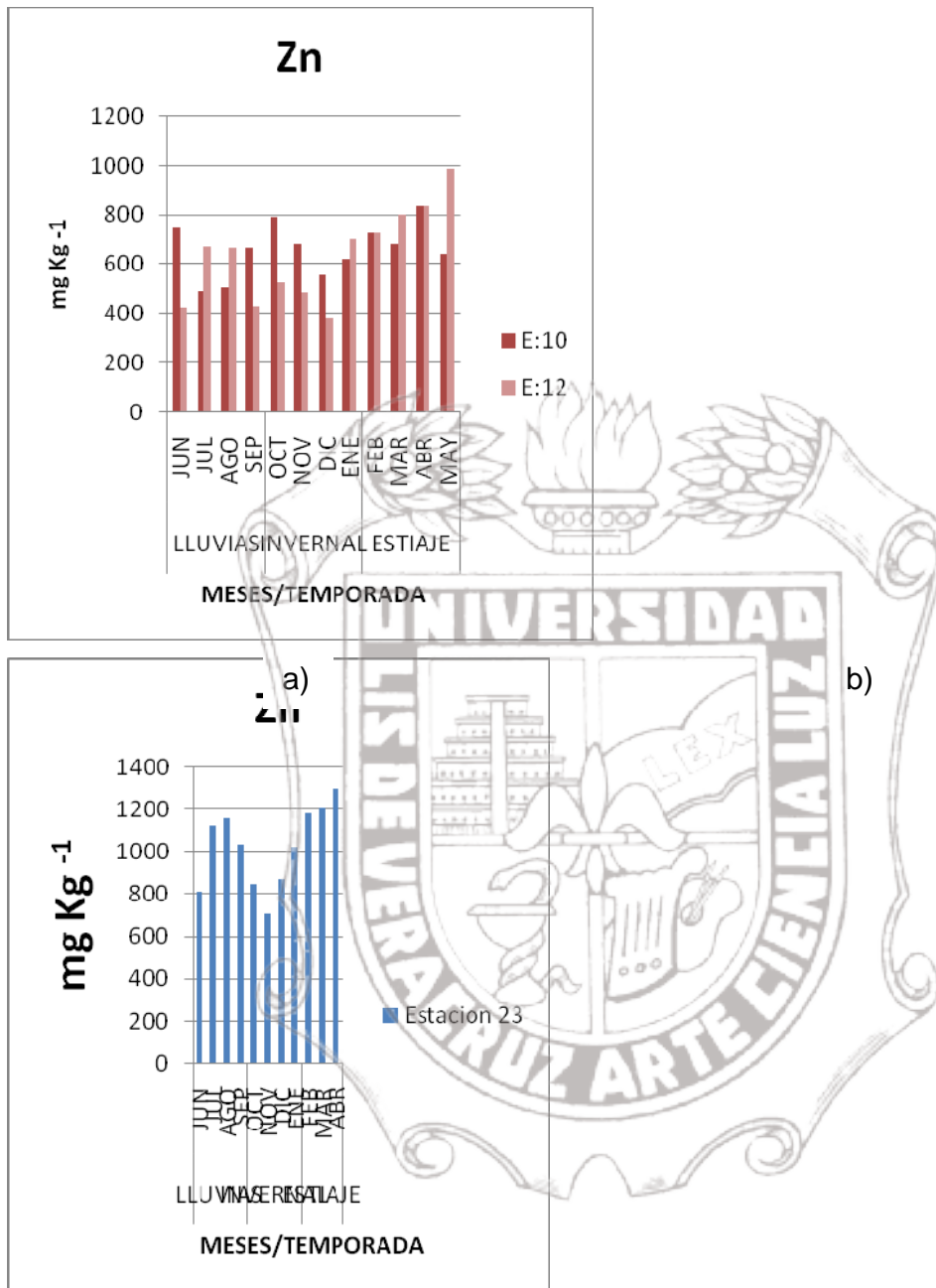
**Figura 21.** Concentraciones de plomo encontradas en ostión del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

Plomo, en los ostiones provenientes de la laguna de Alvarado, alcanza niveles importantes en la estación 10 observándose concentraciones de hasta 12.85 mg Kg<sup>-1</sup> en temporadas de lluvias y de 10.52 mg Kg<sup>-1</sup> en el invierno con importante incremento durante todo el ciclo anual, en la estación 12 alcanzan

## Tesis de Maestría

concentraciones mayores de  $11.5 \text{ mg Kg}^{-1}$  a principios de la temporada de lluvias y mayores de  $7.13 \text{ mg Kg}^{-1}$  a finales de la misma (Figura 21-a). Para los organismos colectados en La Mancha la concentración de plomo en muestras de ostión alcanza niveles importantes en el banco 23 observándose concentraciones de hasta  $8.49 \text{ mg Kg}^{-1}$  en temporadas de lluvias y de  $9.4 \text{ mg Kg}^{-1}$  en el invierno con importante incremento durante todo el ciclo anual (Figura 21-b).





**Figura 22.** Concentraciones de zinc encontradas en ostión del: a) sistema Lagunar de Alvarado Ver.; b) sistema lagunar de La Mancha Ver, durante un periodo anual.

Zinc, los valores máximos y mínimos de zinc en la laguna de Alvarado, fueron de 836.9 mg Kg<sup>-1</sup> y 493 mg Kg<sup>-1</sup> en la estación 10 sin muchas variaciones a lo largo de la temporada. En la estación 12 fueron encontradas concentraciones



más elevadas en época de seca y menores en temporada de lluvias (Figura 22-a). Para los organismos colectados en La Mancha los valores máximos y mínimos de zinc fueron de  $1302 \text{ mg Kg}^{-1}$  en el mes de abril y  $709.1 \text{ mg Kg}^{-1}$  en la época de invierno en el banco 23 sin muchas variaciones a lo largo de la temporada (Figura 22-b).

En los valores obtenidos a lo largo de un año muestreo para el ostión *Crassostrea virginica*, mostraron que la salinidad es un factor que tiene una relación directamente proporcional con la concentración de los metales valorados: aluminio, cobre, cadmio, plomo y zinc, estos resultados son comparados con los estudios realizados por Osuna López y Páez Osuna (1987); donde establece que el comportamiento de los metales se ven afectados con los cambios de salinidad por lo que el plomo y el níquel se comportan de manera lineal, de la misma manera lo menciona Flores Andolalis y García Cubas (1988).

La concentración de aluminio, cobre, cadmio, plomo y zinc en muestras de ostión de la laguna de Alvarado, alcanza niveles importantes en la época de lluvias ya que hay un acarreo de los efluentes domésticos e industriales de la zona alta lo cual produce un incremento en la concentración de los metales. Unos de estos efluente son los ríos Papaloapan y Blanco, en donde se han reportado altas concentraciones de metales (Ponce 1998), provenientes de las industrias Textileras, Cerveceras y Papeleras. Así también este aporte de metales pesados en época de lluvia se debe al acarreo procedente de las zonas de cultivo de caña, piña, tamarindo y sandía, que son áreas en donde aplican fertilizantes.

Las variaciones por en las tres temporadas, presentadas por el aluminio son significativas, lo que refleja que existe una relación con la distribución de pH, como ha sido demostrado por Flores Andolalis y Toledo Granados (1996); donde mostraron variaciones significativas de otros metales como el plomo y el níquel en la laguna de Términos, México, relacionadas a la variación de pH.

# Tesis de Maestría

Las instancias nacionales como el Programa Nacional de Moluscos Bivalvos (PSMB) de la Secretaría de Salud (SSA) han determinado la Norma Oficial Mexicana (NOM-031-SSA1-1993), que establece las concentraciones permisibles de metales en ostión para que sean aptos para el consumo humano, sin embargo a lo largo del estudio se estableció que las concentraciones de metales pesados como plomo, cadmio, están por encima de parámetros límite, e incluso el cobre, zinc y aluminio, no están normados (Cuadro 18). Al comparar nuestros resultados con las normas internacionales la Comunidad Europea (CEE), y las Normas Americanas (EU), los valores de metales no cumplen las especificaciones, lo que indica que el ostión procedente de los sistemas lagunares de La Mancha y Alvarado, Ver., es un producto no apto para el consumo humano, ya que el consumo de metales pesados es un riesgo a largo plazo para la salud, llegando a provocar problemas como son: afecciones renales, alteraciones óseas y fallos del aparato reproductor en cadmio, un exceso en plomo de en la dieta produce daños renales y nerviosos, anemia e hipertensión, y afecta el normal funcionamiento del sistema inmunitario; asimismo, se sospecha pueda ser carcinógeno puede acumularse en el cuerpo humano, especialmente en el riñón, pues su eliminación es muy lenta y puede provocar afecciones renales, un exceso en cobre raramente se presentan problemas de intoxicación con ellos a través de la dieta en seres humanos, en el caso de zinc al ingerir grandes cantidades la mayoría de las personas no tiene efecto adverso. Por lo que es necesario continuar con estudios que permitan la certificar zonas en el Golfo de México, que puedan cubrir las especificaciones de las SSA y la (NOM-031-SSA1-1993).

**Cuadro 18.** Comparación de resultados versus límites permisibles.

Concentración Reportada en Ostión <i>Crassostrea virginica</i> (mg Kg <sup>-1</sup> )			Límites Permisibles		
Contaminante	La Mancha	Alvarado	MX <sup>b</sup> (mg Kg <sup>-1</sup> )	CEE (mg Kg <sup>-1</sup> )	EU (mg Kg <sup>-1</sup> )
Cd	5.86	7.282 7.09 <sup>2</sup>	0.5	1.0	4.0
Pb	9.96 <sup>1</sup> 9.41*	11.58* 20.15 <sup>2</sup>	1.0	1.5	1.7

Hg	-	-	1.0	0.5	-
Cr	-	-	s.n	s.n	13.0
Ni	-	-	s.n	s.n	80.0
As	-	-	s.n	s.n	86.0
Cu	630.9*	214.5*	SIN NORMAR		
Zn	1204.0*	987.9*			
	999.8 <sup>2</sup>	858.5 <sup>3</sup>			
Al	810.9*	927.9*			

Sin registros; s.n.: sin normar.

Norma Oficial Mexicana <sup>a</sup>NOM-031-SSA1-1993.

<sup>1</sup> Luna *et al.*, 2002; <sup>2</sup>Rosas *et al.*, 1986; <sup>3</sup> Villanueva, 1986.

\*Concentraciones máximas (en peso seco) reportadas en esta investigación

## 8.4 Recomendaciones de mitigación para el problema de contaminación.

Siendo el cadmio el que presentará una mayor toxicidad, mayor movilidad y mayor tendencia a la bio-acumulación y el plomo uno de los elementos más tóxicos que se conocen por su carácter acumulativo en los tejidos de los organismos deberán de implementarse acciones de control ambiental en el ostión y sedimentos de los sistemas lagunares basándose en las normas Nacionales e Internacionales existentes siguiendo la siguiente propuesta:

- A) Establecimiento de un procedimiento de saneamiento de las dos zonas, aplicando las normas de: agricultura, ganadería, industria, pesca, acuicultura, asentamientos humanos.
- B) Monitoreo constante Del Medio ambiente, Los organismos, Las actividades humanas.

# Tesis de Maestría

C) Implementación de los criterios de control a nivel sanitario para la extracción del ostión *Crassostrea virginica* de los sistemas lagunares de Alvarado y La Mancha, Ver., como sigue:

C.1 Establecer la zona y el consumo del ostión como un riesgo sanitario ante la Secretaría de Salubridad del estado, una vez demostrado mediante el presente estudio que los metales pesados se encuentran fuera de los límites de normatividad competentes (En México, Estados Unidos y Europa).

C.2 Llevar a cabo el control en base a los siguientes criterios:

- Monitoreo de la presencia de metales pesados en ostión *Crassostrea virginica* y sedimento.
- Análisis de laboratorio estandarizado:
  - Utilizando el método para la determinación de metales pesados en muestras de ostión y sedimento con un Espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 700, marca Perkin Elmer.
  - Utilización de la frecuencia de cada temporada.
- Cumplimiento por SESVER y las respectivas cooperativas son los responsables estos trabajos.
- Establecimiento de acciones correctivas en caso de encontrar muestras contaminadas, previo rechazo, registro y ubicación de los bancos.
- Aplicación de la verificación de las acciones correctivas.
- Promoción en base a los resultados, de investigación para la depuración de los metales pesados en sedimento y en ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791).
- Educación de los involucrados: asentamientos humanos, las industrias y las autoridades para llevar a la conclusión de todas estas acciones.

D) Promoción de más investigación relacionada a la contaminación y depuración de metales pesados en los sistemas lagunares de Alvarado

y La Mancha, Ver., y por consiguiente aplicable a otros sistemas acuáticos con problemas similares.

- E) Establecimiento del desarrollo científico y aplicación correcta de las normas.
- F) En su caso, cambio o ratificación de normas y establecimiento de los procedimientos para el cumplimiento de estas.
- G) Desarrollo sustentable con resultados a corto y largo plazo.

## CONCLUSIONES

### **Niveles de concentración de metales pesados en sedimento en el Sistema Lagunar La Mancha, Ver.**

Al comparar los resultados obtenidos de los metales no cumplen con las normas Nacionales NOM-001-ECOL-1996, lo que indica que el sedimento procedente del sistema lagunar La Mancha, Municipio de Actopan; Veracruz, México causa efectos irreversibles en los organismos principalmente moluscos bivalvos que habitan en ese municipio.

Las concentraciones de metales pesados encontradas en las muestras de sedimentos del sistema Lagunar la Mancha los valores rebasan los límites permisibles de las normatividades nacionales, además de que el aluminio no se encuentra normado.

Los resultados presentes demuestran que las temporadas climáticas juegan un papel importante en el comportamiento de los metales, observándose que las

concentraciones aumentan o disminuyen de acuerdo a la temporada. Las concentraciones de zinc se encuentran directamente relacionado con las aguas de uso domestico y las provenientes del caño los Gallegos que se vienen descargando en la laguna.

## **Niveles de concentración de metales pesados en sedimento en el Sistema Lagunar Alvarado, Ver.**

De acuerdo con los estudios realizados se determino el siguiente patrón de concentración:  $Al > Zn > Pb > Cu > Cd$  estos pueden producir efectos negativos a la flora y fauna de los que a través de la cadena trófica provocan Bioacumulación en distintos organismos incluyendo al humano, así como diferentes enfermedades.

Las concentraciones reportadas en este estudio rebasan los límites permisibles de acuerdo a la NOM.001-ECOL-1996. El único metal que presenta diferencia significativa es el plomo considerando inquietante este resultado debido a que este metal se acumula en el tejido muscular es tóxico para los organismos que lo retienen en su tejido graso y para el ser humano.

La zona con mayor concentración de metales pesados fue la zona centro de acuerdo a las divisiones realizadas en el sistema lagunar se cree que es provocado por el acarreo de la lagunas que se conecta el sistema y la más alta concentración de los metales se va depositando en esa área.

## **Niveles de concentración de metales pesados en Ostión *Crassotrea virginica* (Gmelin 1791).**

Las concentraciones de metales pesados encontrados en las muestras de ostión de la laguna de Alvarado y La Mancha rebasan los límites permisibles de las normatividades nacionales, internacionales (EU) y la comunidad europea (CEE) además que no todos los metales están legislados.

Se determino que ninguno de los valores de concentración de los metales analizados en el ostión de Alvarado, cumplen con la norma oficial mexicana NOM-031-SSA1-1994 establecida.

Los resultados aquí presentados demuestran también que las temporadas climatológicas juegan un papel muy importante en el comportamiento de los metales, observándose que las concentraciones aumentan o disminuyen de acuerdo a la temporada.

Comparando los resultados obtenidos con otros estudios realizados se concluye que de la misma manera rebasan los límites permisibles según la NOM-031-SSA1-1994.

## ANEXO 1

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-117-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE CADMIO, ARSÉNICO, PLOMO, ESTAÑO, COBRE, FIERRO, ZINC Y MERCURIO EN ALIMENTOS, AGUA POTABLE Y AGUA PURIFICADA POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.

JOSE MELJEM MOCTEZUMA, Director General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 3o. fracción XXII y XXIV, 13 fracción I, 194 fracción I, de la Ley General de Salud; 3o. fracción XI, 38 fracción II, 40 fracción I, VI, VIII, XI y XIII, 41, 43, y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 8o. fracción IV y 13 fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud; y los aplicables del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios.

1. Digestión por vía húmeda para la determinación de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn.

Pesar con precisión de  $\pm 0,1$  mg, una cantidad apropiada de muestra. Para la determinación por el método de absorción por flama pesar como máximo 40 g de jugo o bebida, 20 g de alimentos que contengan del 50 al 75% de agua y 10 g de

alimentos sólidos o semisólidos. Limite el contenido de grasa o aceite a un máximo de 4 g y el total de materia orgánica a 5 g. Añadir 10 ml de ácido nítrico concentrado y dejar reposar toda la noche o iniciar directamente la digestión. Usar matraz de Kjeldhal o matraz conectado al sistema de refrigerantes. Calentar suavemente. Digerir la muestra 3 horas o más tiempo si es necesario (algunas muestras requieren la adición de mayor cantidad de ácido nítrico) hasta la aparición del color traslúcido, si queda ámbar, adicionar peróxido de hidrógeno gota a gota con agitación continua (reacción exotérmica). Enfriar. Recuperar, filtrar y llevar a un volumen conocido en matraz volumétrico. Correr un blanco de reactivos y muestra fortificada por cada serie de digestión. Leer en el aparato de elección (espectrómetro de absorción atómica por flama u horno de grafito).

## 2. Procedimiento para la determinación de metales por Espectrometría de absorción atómica por flama.

Ajustar el instrumento de absorción atómica en las condiciones adecuadas para la determinación del analito de acuerdo a las indicaciones del manual del instrumento. Introducir el blanco de reactivos y la muestra a analizar y registrar los valores de absorbancia. Se debe analizar al menos un blanco de reactivos con cada grupo de muestras. Los valores obtenidos ponen de manifiesto la calidad de los reactivos usados y el grado de contaminación del laboratorio. En los equipos que pueden programarse, la lectura obtenida da directamente la concentración del elemento en las unidades de concentración utilizadas. Se debe analizar al menos un blanco de reactivos fortificado para cada grupo de muestras. Se calcula la exactitud como el porciento de recuperación. Se debe fortificar al menos una muestra por grupo o el 10% de ellas lo que resulte mayor. La concentración añadida debe ser de aproximadamente 0,1 unidades de absorbancia. Se debe calcular el porciento de recuperación para el analito, de acuerdo a:

$$R = \frac{CM - C}{CA} \times 100$$



# Tesis de Maestría

R = % recuperación

CM = Concentración de la muestra fortificada

C = Concentración de la muestra

CA = Concentración equivalente de analito añadido a la muestra.

Si la recuperación del analito en la muestra fortificada está fuera del intervalo previamente establecido y el blanco de reactivos fortificado está correcto, puede existir un problema relacionado con la matriz de la muestra. Los datos se deben verificar por el método de las adiciones estándar.

### 3. Expresión de resultados. Método de cálculo.

Interpolar los valores de absorbancia o altura de pico de la muestra analizada en la curva de calibración y obtener los mg/kg del elemento en la muestra y realizar los cálculos empleando la siguiente fórmula:

$$\text{mg/ kg} = \frac{A \times B}{C}$$

En donde:

A = Concentración en mg/kg de la muestra a interpolar en la curva de calibración.

B = Volumen final al que se llevó la muestra (ml).

C = Peso de la muestra (g) o volumen de la muestra (ml) en el caso de agua.

En los equipos que pueden programarse, la lectura obtenida da directamente la concentración del elemento en mg/kg o µg/kg.

### 4. Informe de la prueba

# Tesis de Maestría

Los resultados se informarán en mg/kg o µg/kg del elemento a determinar.

5. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana no es equivalente con ninguna norma internacional.



## ANEXO 2

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-031-SSA1-1993, BIENES Y SERVICIOS. PRODUCTOS DE LA PESCA. MOLUSCOS BIVALVOS FRESCOS-REFRIGERADOS Y CONGELADOS. ESPECIFICACIONES SANITARIAS.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-  
Secretaría de Salud.

JOSE MELJEM MOCTEZUMA, Director General de Control Sanitario de Bienes y Servicios, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 38 fracción II, 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 8o. fracción IV y 13 fracción I del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud.

1. Especificaciones sanitarias

Los productos objeto de este ordenamiento deben cumplir las siguientes especificaciones:

Físicas

# Tesis de Maestría

Materia extraña

Los moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados deben estar exentos de materia extraña.

Químicas.

## 2. Contaminación por metales pesados

Especificaciones límite máximo (mg/kg)

Mercurio (Hg) 1,0

Mercurio como metil mercurio\* 0,5

Plomo (Pb) 1,0

Cadmio (Cd) 0,5

\* Es necesario únicamente en los casos en que el mercurio total supere el nivel de referencia establecido, con la finalidad de aceptar o rechazar el lote.

### ANEXO 3

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales; 5o. fracciones VIII y XV, 8o. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 fracción II y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

# Tesis de Maestría

Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana



TABLA 1. DE LA NOM-001-ECOL-1996 QUE APARECE EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN DE ENERO DE 1997.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																					
PARAMETRO  (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO		HUMERALES NATURALES (B)				
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)				Uso en riego agrícola (A)		
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.			P.M.	P.D.	
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2	
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4	
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	

(\*) Medidos de manera total

P.D.= Promedio Diario P.M.= Promedio Mensual N.A.= No es aplicable  
 (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

# Tesis de Maestría

## BIBLIOGRAFIA.

- A.P.H.A., 1996. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. and Suppl., Washington, DC., USA. 20: 1100 p.
- Albert, A. L., Jiménez M., 1992. Metales pesados en ostión procedentes de dos sistemas estuarinos, Jalapa, México, boletín.147: 1-44.
- Alloway, B.J., 1990. Heavy metal in soils. John Wiley and Sons, Inc. New York. USA. Bulletin, ISBN 0470215984.
- Álvarez, R.V., 1983. Distribución de metales pesados en sedimentos del Río Blanco, Veracruz. Tesis de Maestría. UACP y p-cch. Maestría en ciencias del mar. Univ. Nal. Auton. México. 68.
- Anderson, D. H., y Hawkes H.E., 1958. Relative mobility of the common elements in weathering of some schist and granite areas. Geochimica et Cosmochimica Acta 14:204-210.
- Arenas Aspilcueta, M., 1999. Estratigrafía de manglar y laguna La Mancha: quinientos años de historia, Ecología de Ecosistemas Costeros Tropicales. 269
- Autores varios, 1998. Compendio de geología marina del Golfo de México y Mar Caribe. Secretaría de Marina, Armada de México. México, D. F., Vol. No. II.
- Ávila Pérez P., 1988. Evaluación de los niveles de bioacumulación por metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica*, Gmelin, como indicadores de contaminación por hidrocarburos en el canal del Chijol, Ver. , Veracruz, México. 27.
- Ávila Pérez P, Zarazúa Ortega G., 1993. Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea virginica*, Gmelin) del canal del Chijol, Veracruz, México, 35-51

# Tesis de Maestría

- Badillo, F., 1984. Las lagunas costeras mexicanas, centro de ecodesarrollo y Secretaría de pesca. 2da Ed. 263.
- Barr, D.P., 1994. Mechanism white rot fungi use to degrade pollutants environ. Sci technol. 28, 78A-87A
- Bertine, K.K., y E.D., Goldberg, 1971. Fossil fuel combustion and the major sedimentary cycle. Science. 178: 233-235.
- Botello, A.V., 1983. Variación estacional del contenido de metales pesados en sedimentos de la zona costera del golfo de México, Instituto Ciencias del Mar y Limnología UNAM. 47
- Botello A.V., Toledo Ocampo, 1996. Impacto ambiental de la industria petrolera en el río Coatzacoalcos, Veracruz. 541-554.
- Botello A.V., González F. A, Vélez P. G, Fragoso V. S., 1978. Presencia de metales en sedimentos y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. Laboratorio de Contaminación Marina Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 34-35.
- Botello, A. V. Ponce Vélez, A., Toledo, A., Díaz González, G y Villanueva, S., 1996. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. EPOMEX, Serie Científica 5, Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. 25-44.
- Bouchot, Gold. G, Mezquita, Marin. L, Pérez, Zapata. O., 1981. Trace metal in the american oyster, *Crassostrea virginica*, and sediments from the coastal lagoons Mecoacan, Carmen and Machona, Tabasco, México, Centro de investigación y de estudios avanzados Unidad Mérida.
- Bowen, P., 1996. El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en material orgánico en lagunas costeras. Ciencias marinas. 16(3): 45-62.

# Tesis de Maestría

- Bruland, K.W., 1983. Trace elements in seawater, In: J:P: Riley And R. Chester (Eds). Chemical oceanography, Academic Press, New York, 159- 221.
- Castañeda L.O. and F.E. Contreras, 2001. Serie: Bibliografía Comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos 2001. Centro de Documentación Ecosistemas Litorales Mexicanos. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, División C. B. S. Depto. de Hidrología. Publicación electrónica (CD). ISBN: 970-654-912-9. México, D.F. Vol.3: Golfo de México I. CONABIO/UAM-I/CDELM. 615 p.
- Cifuentes Juan Luis, Torres-García Pilar, Frías M. Marcela, 1997, El océano y sus recursos, X. Pesquerías, Segunda edición (La Ciencia para Todos), D.R. © 1997 Fondo De Cultura Económica. 198 p.
- Comisión mundial para el medio ambiente y desarrollo, 1987. Our Common Future. Oxford. University Press. Oxford.
- Contreras E.F., 1984. Las lagunas costeras mexicanas, centro de Ecodesarrollo y Secretaría de pesca, 2da. Edición. 263.
- Contreras E.F. y Castañeda L., 1995. Los ecosistemas costeros del estado de Veracruz. Gob. Del Edo. De Veracruz. SEDAP. 176.
- Contreras E.F. y Castañeda, R. Torres, A. y F. Gutierrez M., 1985. Nutrientes en 39 lagunas costeras. Rev. Biol. Tropp. 44(2): 417-425.
- Contreras E.F. y J.J. Kerekes., 1993. Phosphorus Chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in México. Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 448-451.
- Crecelius y Bloom, 1987. Department of Energy, BULLETIN, USA, Vol 2,EA-46-41. Projeet 2020-2.



# Tesis de Maestría

- Davies, P.H., J.P. Goettl, Jr. Sinley y N.F. Smith, 1976. Acute and chronic toxicity of lead to rainbow trout, *salmo gairdneri* in hard and soft water. *Water research*, 10:199-206.
- Day Jr. R. A., 1989. Química analítica cuantitativa, Prentice Hall hispanoamericano, S. A., Emory University, Quinta edición, México. 812 p.
- Fuentes Cruz, S.C., 1995. Determinación de la Concentración de los metales Pesados (Pb, Cu, Ni, Cr, Fe) en el litoral del Estado de Veracruz, México, Tesis. Facultad de Ingeniería U.V Veracruz. Ver; 24-25.
- Förstner, U., 1984. Chemicals forms and reactivities in sediments. Ing:R. Leschber, R.D.David and P.L. Hermite.(Editors), *Chemical Methods for assessing Bio-AVAILABLE Metals in Sludge and Sols*. Elsevier, London. 1-31.
- García, E., 1973. Los climas del estado de Veracruz (según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por la autora). *Antología Biológica Universidad Nacional Autónoma de México*. Botánica 41(1): 3-42.
- Goldberg, E.D., 1976. *The health of the ocean* UNESCO. Press. París. 172 p
- González Begne Carmen, 1991. Determinación de plomo en el ostión de roca "*Crassostrea iridescens*" (Hanley, 1854) en la bahía de Acapulco, Guerrero, México. 85 p.
- González, P.G., 1991. Estudio económico técnico de la producción ostrícola en la S.C.P. pesquera, ostionera y camaronesa de Boca del Río, Ver. S.C.L. Tesis. ITMAR Boca del Río. P.29.
- Green Ruiz C. R., 2000. Geoquímica de metales pesados y mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos de cuatro puertos del golfo de California, Mazatlán, Sinaloa, México, 220 p.

# Tesis de Maestría

- Guerrero Carvajal Y., 1993. Evaluación de la concentración de metales pesados en el ostión de roca (*Crassostrea iridescens*), agua y sedimentos de la bahía de Manzanillo, Colima, México, Tesis. UNAM; 8.
- Guzmán; A.P. Silva, G. y Díaz, C.I., 2002. La Pesca en Veracruz y sus Perspectivas de desarrollo, Sagarpa. U: V, Instituto Nacional de Pesca; 98 y 237.
- INEGI, 1997. Anuario estadístico del estado de Veracruz, Instituto Nacional de Geografía, estadística e informática. Gobierno del estado de Veracruz. Vol. I y II.
- Inman, L.D. y B.M., 1973. The coastal challenge. Fragile ribbons whit border our land require more understanding, new technology and resolute planning. Science. 181: 20-3.
- J.G. Weihaupt, Schawab o., Irevort K., Edminister W., 1964. Ingeniería de conservación de suelos y agua. Edit. Limusa. México, D.F. 17- 160.
- Kjerfue, B., 1978. Bathymetry as an indicador of net circulation in well mixed estuaries. Limnol Oceanogr. 23(4): 816 – 821.
- Klein, L:A., M. Lang, N. Nash y S:L. Kirschner, 1974. Source of metals in New York city wate-water. Journal of water pollution control federstion. 46: 2653-2662.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoons of Mexico their origin and classification. Wiley, N. (Ed) academic Press Inc. 230.
- Laws, R:R:, 1996. Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification in estuarine processes. Wiley, N. (Ed) academic Press Inc. 182-215.
- Luna L.J., 2001. Determinación de la concentración de metales pesados en tejidos de Ballena Gris, agua y sedimentos en la laguna de Ojo de liebre, Baja California Sur. Tesis. UNAM. 34-38.

# Tesis de Maestría

Luna, J. M., Jaime R. V., y Alpuche, G. L., 2002. Presencia de plomo en agua y ostión en las lagunas de Alvarado y La Mancha. La Pesca en Veracruz y sus Perspectivas de Desarrollo. Editores Inst. Nacional de Pesca y Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver.145-154.

Manual de técnicas para la determinación de metales pesados en alimentos. P.E.R.E (Programa Emergente De Radiación Estatal).

Margalef, R., 1991. Ecología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España, 7° reimpresión. 803-811.

Marmolejo, R. C., Páez, O. F., 1990 Metales traza en bivalvos de lagunas costeras tropicales, *Crassostrea*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 45 (4): 538-544.

Martínez, J. R., 1997. Dirección General de Educación Ambiental. Revista Cronopio, No. 8, FC-UASLP. 77-83.

Mee, L.D., 1989. Trace metal contamination in the wider caribbean región. Marine enviromental studies laboratory IAEA. 13.

Moreno Dolores, 1998. Vigilancia ambiental: suelo y alimentos, conclusiones reunión Aznalcollar-Sesa\_See Y Aet. Madrid 6 julio. 124 p.

Muhammad Sadiq, 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. King Fahd University of petroleum and minerals, Marcel Dekker, Inc., New York. 300 p.

Navarrete Rosas, 1989. Evolucion gonádica y fijación del ostión *Crassostrea Virginica* (Gmelin) en el sistema lagunar de Boca Del Rio-Mandinga, Ver. , Veracruz, México, 95 p.

# Tesis de Maestría

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-031-SSA1-1993. Bienes y Servicios productos de la Pesca crustáceos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-117-SSA1-1994. Determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc, y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrofotometría de absorción atómica”.

Páez Osuna, F., 1996. Efectos de los metales. EPOMEX, serie científica 5, universidad autónoma de Campeche. Campeche, México. 349-361.

Páez Ozuna F, Guerrero-Galván, S. R. and Ruiz-Fernández, A. C., 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico, Mazatlan, Sinaloa, Mexico. Marine Pollution Bulletin, Volume 38, Issue 7, July 1999, 585-592.

Páez-Ozuna, F., 1996. Fuentes de metales en la zona costera marina. EPOMEX, serie científica 5, universidad autónoma de Campeche. Campeche, México. pág. 297-308

Páez-Ozuna, F., Botello, A.V., Rojas-Galaviz, J. L., Benítez, J. A. Y Zarate-Lomeli, D. (Eds). 1996. Efecto de los metales en el Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, México. Epomex, Serie Científica, México. Vol. 5 349-361.

Pecsok L. Robert; 1977. Métodos modernos de análisis químicos; editoriales Limusa, S. A.; México. 171 p.

Pemex; U.N.A.M.; CONACYT; 1986. Atlas I, mayo. Evaluación de hidrocarburos y metales pesados en la costa occidental de la península De Baja California. 175 p

# Tesis de Maestría

- Phillips, D.J.H., 1977. The use of biological in indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine enviroments a review. Environmental pollution 3: 28-317.
- Ponce-Velez, G., 1988. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes y tejids de ostión *C. virginica* (Gmelin, 1791) de la laguna de términos Campeche, México. Tesis. UNAM. 8.
- Portilla Ochoa, E., 2003. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, Sistema Lagunar Alvarado, Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana.
- Presidencia de la República, Secretaria De Salud., 1999. Reglamento de control sanitario de productos y servicios. Diario Oficial Mexicano. México, D. F.
- Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente general PNUMA/GPA/IGR.1/3 Reunión intergubernamental de examen de la aplicación del programa de acción mundial para la protección del medio marino frente a las actividades realizadas en tierra. Primer período de sesiones Montreal (Canadá), 26 a 30 de noviembre de 2001.
- Ramirez, G.R., 1989. Diagnóstico ecológico de la laguna de Tampamachoco, Ver., esquema conceptual. Res. Colo. Invest. Hidrobial. Tampamachoco, UNAM. 47 - 59.
- Rosas, L., Báez, A. Y. Belmont, R., 1983. Oyster (*C. virginica*) as indicator of heavy metal pollution in some lagoons of the Gulf of México. Water, air and soil pollution 20: 127- 135.
- Rosas, L., A. Carranza y U. Alvarez, 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, Mexico. An. Inst. Ciencias del mar y limn. UNAM. 13(3): 19-20.

# Tesis de Maestría

- Rainbow Philip S., 1993. The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates, ecotoxicology of metals in invertebrates, Lewis Pub. Boca Ratón, FL, p 4–23
- Ruppert y Barnes, 1996. Zoología de los Invertebrados 6ª edición. Editorial McGrawHill. Interamericana S.A. de C. V. En español, P. 453
- SAGARPA, 2000. Serie histórica de producción Mexicana ostrícola (*Crassostrea gigas* y *C. virginica*). 147 p.
- Salomons, W. and Forstner, U., 1984. Metals in the Hydrocycle. ISBN 3-540-12755-0, Springer- Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Samanidou, V. and Fytianos, K., 1990. Mobilisation of heavy metals from river sediments of Northern Greece by complexing agents. Water, Air and Soil Pollution 52: 217-225.
- San Martín, H., 1988. Ecología humana y salud, El hombre y su ambiente. Ediciones científicas La Prensa Medica Mexicana, S. A. De C. V. México, D. F. 2º edición, 1ª. reimpresión. 138-173.
- Sánchez Modesto H., 1992. Determinación de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) en dos especies de ostión. (*Crassostrea virginica*, *Crassostrea rhizophora*). En la laguna de Términos, Campeche. México D.F., México, 21-27.
- Secretaría de Pesca (SEPECSA), 1999. Informe técnico para la operación de centros productores de ostión, México, D.F.
- SEPECSA, 2001. Secretaría de Pesca. Programa Nacional Pesquero.
- Skoog Douglas A.; 1990. Química analítica, editorial Mc Graw Hill; Cuarta edición, México. 533 p.

# Tesis de Maestría

- Villalobos-Figueroa, A., De la Parra R. V., Galván, V.P., Izaguirre, M.A., 1984. Estudio hidrológico en la laguna de La Mancha, municipio de Actopan, Veracruz, (1979-1980). INIREB. Xalapa, Veracruz. 13- 204.
- Villanueva, F.S. y Páez Osuna, F., 1996. Niveles de metales en el Golfo de México. Agua, Sedimentos y Organismos. EPOMEX, Serie Científica 5, Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. 309-347.
- Villanueva, F.S., 1987. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México. Tesis. ENEP-Zaragoza, UNAM. México. 48-73.
- Villanueva, F.S. y Botello, A.V., 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.
- Villatoro, G.J. y Villafuente, P.F., 1996. Proyecto de factibilidad de la producción de ostión *Crassostrea virginica* mediante la implementación de un proceso de depuración en S.C.P.P. la fortunata S.C.L. en La Laguna municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Tesis ITMAR Boca del Río, Ver. 100 p.
- Wright D.A., Mason R.P., 2000. Biological and chemical influences on trace metal toxicity and bioaccumulation in the marine and estuarine environment , Int. J. Environ. Pollut. 13 (1-6): 226-248.

## SITIOS WEB

[http://apina.eresmas.com/guia/biv\\_b.html](http://apina.eresmas.com/guia/biv_b.html), <http://www.conchbooks.de/startseite/startseite.html>, ConchBooks, publishing house, bookshop and antiquarian Pequeña guía práctica para la identificación de las conchas europeas. Bivalvos con conchas variables e irregulares.

[http://www.accionchilena.cl/Ecofilosofia/Contaminacion\\_Chanaral.htm](http://www.accionchilena.cl/Ecofilosofia/Contaminacion_Chanaral.htm), Contaminación de la Bahía de Chañaral por el Mineral El Salvador, León Aravena

# Tesis de Maestría

Irene, Ingeniero Medioambiental, Universidad de Santiago, Santiago, 22 de junio del 2001.

<http://www.biblioteca.imta.mx/default.htm>

<http://www.chem.unep.ch/pops/indxhtmls/manwashes.html>: Informe de la Conferencia Intergubernamental para la Adopción de un Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino Frente a las Actividades Realizadas en Tierra, Washington, D.C., 23 de octubre a 3 de noviembre de 1995.

[http://www.chemkeys.com/bra/md/ede\\_5/ede\\_5.htm](http://www.chemkeys.com/bra/md/ede_5/ede_5.htm)

<http://www.cinu.org.mx/onu/estructura/programas/pnuma.htm>: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

<http://www.conabio.gob.mx/marinas/marinas.htm>

<http://www.contenidos.com/ecologia.htm>

[clo@xanum.uam.mx](mailto:clo@xanum.uam.mx), Ofelia Castañeda López y Francisco Contreras Espinosa, 2003. Laboratorio Ecosistemas Costeros, Depto. de Hidrobiología, D.C.B.S. UAM-I, México, D.F., 13.

<http://www.edafologia.ugr.es/Conta/tema15/introd.htm>

**¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.**

<http://www.geochemistrylab.es>

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap2.html>. Instituto Nacional de Ecología.



# Tesis de Maestría

Contreras Espinosa F, Castañeda López O, 2001, Lagunas costeras;  
<http://www.iztapalapa.uam.mx/iztapala.www/cdelm/inzoco/lagunas.htm>

<http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/Articulo%2017%20Vol2.pdf>

José Alberto Lannacone Oliver 1 y Lorena Alvarino Flores, Ecología Aplicada, 2(1), 2003; ISSN 1726-2216. Depósito legal 2002-5474

Legaría, L. and Vásquez G. 2001 Dinámica de la comunidad fitoplanctónica y su relación con parámetros fisicoquímicos en la laguna La Mancha, municipio de Actopan, Veracruz, México. Instituto de Ecología. A.C. Publicación electrónica (Internet).

<http://www.medicambiente.gob.ar/sian/chubut/trabajos/trabajos.htm>

[http://members.tripod.com/london\\_job/](http://members.tripod.com/london_job/).- Contaminación de las Aguas por Nitratos

<http://www.monografias.com/trabajos/contaminacion/contaminacion>.

<http://www.pnuma.org/recreat/recreat.php>: Situación de los recursos naturales en América latina

<http://www.rlc.fao.org/eventos/1998/agosto/copescal/cuestion.htm>, Examen de cuestiones seleccionadas relacionadas con la pesca continental y la acuicultura en la región de la Copescal, Comisión de pesca continental para América latina (COPESCAL), Octava reunión, Belem, Brasil, 11-14 de agosto de 1998.

<http://www.sagar.gob.mx/pesca/>. Comisión nacional de acuicultura y pesca-CONAPESCA, 2003. Comisión nacional de acuicultura y pesca. Anuario estadístico de Pesca 1991-2001.

# Tesis de Maestría

Ruiz, M.G., 2002. Diversidad de macroinvertebrados epibiontes de raíces de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en la Laguna de La Mancha, Veracruz, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Publicación electrónica (Internet)

<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter17.htm>: Programa 21: Capítulo 17, Protección de los océanos y de los mares de todo tipo, incluidos los mares cerrados y semicerrados, y de las zonas costeras, y protección, utilización racional y desarrollo de sus recursos vivos.

[http://www.uvigo.es/cactiweb/s\\_aninst/abs\\_atom.htm](http://www.uvigo.es/cactiweb/s_aninst/abs_atom.htm)

<http://www.veracruz.com>

<http://www.veracruz.gob.mx>

**¡Error! Referencia de hipervínculo no válida./**

