

00361



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

**“CONTAMINACIÓN POR METALES EN OSTIÓN DE
LAS LAGUNAS DE ALVARADO, MANDINGA
Y TAMIAHUA, VER.”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA)**

P R E S E N T A :

BIÓL. PATRICIA GUZMÁN AMAYA

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICO ESTE TRABAJO

**A mis padres Celia y Alfonso
por su guía y cariño que influirán siempre en mi vida**

**A mis hermanos: Martha, Jesús Alfonso y en especial a Ma. Celfa y Alda
María por su cariño y apoyo sin límites**

A Rosa Ma. Cajigas C. con cariño

**A mis amigos por brindarme
el invaluable tesoro de su amistad**

AGRADECIMIENTOS

A mi Maestro y Director de Tesis Dr. Alfonso Vázquez Botello, mi cariño y profundo reconocimiento por su atinada dirección y apoyo incondicional.

A mi amiga Biól. Susana Villanueva Fragoso, por su paciencia para entrenarme en el trabajo de laboratorio y por su guía.

A mi amiga M. en C. Guadalupe Ponce Vélez, por su asesoría que ayudó a centrar mis ideas y por sus invaluable consejos.

A mis compañeros del Laboratorio de Contaminación Marina: Biól. Aurora González Fierro, M. en C. Claudia E. García Ruelas, Dr. Gabriel Núñez Nogueira, Biól. Dulce O. Leyva Cardoso.

Un gran reconocimiento y agradecimiento a la Dra. Christina D. Siebe Grabach y MC. Ma. Norma O. Fernández Buces, por sus atinadas sugerencias y observaciones.

A mi amiga Dra. Alma Socorro Sobrino Figueroa por su indiscutible disposición y guía.

A mi compañero y amigo Quím. Alejandro Liedo Galindo, por su reconocida capacidad académica y gran compañerismo.

A mi Maestra y amiga MC. Ma. del Pilar Torres García por su apoyo, cariño y consejos.

A mi amiga Carmen García Estrada, porque siempre ha demostrado ser una excelente compañera.

A Juan Manuel Arteaga Flores, por su compañerismo y amistad.

A las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera: “Pescadores Unidos de Mandinga”, “Pescadores de Tamiahua” y “La Ribera de Tampico Alto”, por su invaluable apoyo en la realización del trabajo de campo en las lagunas de Mandinga y Tamiahua.

Al Instituto Nacional de la Pesca, porque siempre me ha apoyado en mi desarrollo profesional.

Al Laboratorio de Contaminación Marina de la UNAM, que me brindó todas las facilidades para el desarrollo del presente trabajo.

INDICE

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	7
IV. ÁREA DE ESTUDIO	8
V. MÉTODO DE TRABAJO	10
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Laguna de Alvarado, Ver.	25
Laguna de Mandinga, Ver.	46
Laguna de Tamiahua, Ver.	65
Análisis Global	85
VII. CONCLUSIONES	108
VIII. RECOMENDACIONES	110
IX. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	115

RESUMEN.

Debido al acarreo de desechos y su acumulación en sedimentos en las lagunas costeras del estado de Veracruz, se esperaría que las concentraciones de metales estuvieran por encima de lo que marcan los niveles de referencia, al igual que en ostión por ser un organismo filtrador y estar en contacto con el sedimento, de forma que su consumo a largo plazo podría implicar un problema de salud. Por tal razón, se determinaron las concentraciones de cadmio, cobalto, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc en sedimentos y ostiones de las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua.

La extracción de metales en tejido de organismos se hizo mediante el método de la IAEA (1984), metales totales en sedimento por el de Agemian & Chau (1976), modificado por Páez-Osuna (1988). Para la obtención de la fracción biodisponible se trataron las muestras de sedimento con ácido acético al 25% según el método de Luoma y Jenne (1976), Malo (1977), Agemian y Chau (1976) y Loring (1979). Para la determinación de Carbono Orgánico Total (COT) se empleó la técnica descrita por Gaudette *et al.* (1974).

El cadmio total en sedimento en la laguna de Tamiahua y el níquel en las tres lagunas se encontraron por encima de los valores en sedimentos que producen efectos biológicos o V.S.E.B. de 1.2 y 20.9 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente (Long *et al.*, 1995). El cromo, plomo, cobre y zinc, en los tres sistemas, se encontró por debajo de los 81, 46.7, 34 y 150 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente.

Las concentraciones promedio de cadmio en ostión de Tamiahua y Alvarado rebasaron el límite que establece la FDA para moluscos bivalvos (3.7 $\mu\text{g g}^{-1}$); las de cobre y plomo, para las tres lagunas, estuvieron por encima del límite máximo permisible promedio de 32.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ de la FAO y de 1.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ de la FDA, respectivamente. Los promedios de cromo en Tamiahua y Mandinga sobrepasaron el límite de 13 $\mu\text{g g}^{-1}$ que marca la FDA para moluscos bivalvos. En Tamiahua se registraron las concentraciones más altas de cadmio, cromo y plomo. Las concentraciones de cadmio y plomo en el ostión de las tres lagunas excede los límites de 0.5 y 1.0 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente, que marca la NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995).

En un análisis de regresión por pasos muestra que en Mandinga la concentración de los metales en sedimento (total y biodisponible), el pH y el %CO influyen sobre las concentraciones en ostión, en Alvarado estos factores tienen una menor influencia y ninguna en Tamiahua.

El margen de exposición (MOE) indica que el consumo de ostión de las lagunas de Alvarado y Tamiahua podría constituir un riesgo para la salud a largo plazo en individuos de 8 años, debido a las concentraciones de cadmio encontradas, la población más expuesta sería la infantil en razón de su peso corporal. El cálculo de la Tasa de consumo de ostión se realizó en función de su contenido de cadmio y plomo por exceder los límites señalados por la NOM-031-SSA/1993 (0.05 y 1 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente) y la FDA (3.7 y 1.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente). La Cr recomendada es de 12 g/día para Alvarado y de 7 g/día para Tamiahua, en función de las concentraciones encontradas para ambos metales.

I. INTRODUCCIÓN.

Los metales están presentes en rocas, suelos, sedimentos y agua de forma natural, y se introducen a los ambientes marinos como resultado de procesos geológicos y de actividades antrópicas, situación que ha incrementado la concentración de los metales en los ecosistemas. Los estudios realizados hasta ahora demuestran que los problemas más agudos de contaminación por metales se da en cuerpos de agua semicerrados, como bahías, estuarios y lagunas costeras.

Una de las actividades que más impacta el medio acuático es la agricultura, cuyos retornos constituyen en México el 46% del total de las descargas (que equivalen a un caudal de 282 m³/s). Esto, aunado al uso indiscriminado de agroquímicos y a la severa erosión en el país, provocan un problema de contaminación que debe tomarse en cuenta (Arévila *et al.*, 1997). Por otro lado, se tienen las aguas de desecho doméstico y la actividad industrial en la región costera del Golfo de México y tierra adentro, como son refinerías; producción de fertilizantes; minería y metalurgia; galvanoplastia; curtidurías; perforación de pozos petroleros; aguas de desecho industrial, etc. (Botello *et al.*, 1996).

La actividad industrial genera residuos industriales peligrosos (RIP), que se estima alcanzan unos 8 millones de toneladas/año, de los cuales se considera que sólo el 26% recibe manejo adecuado. El resto (6 millones de tn/año aproximadamente) se acumulan en las instalaciones de las industrias o se disponen de manera ilegal. Las consecuencias de dichas prácticas inadecuadas se reflejan en problemas de contaminación del agua, la afectación de cadenas tróficas por procesos de bioacumulación y de salud pública (CESPEDES, 1998).

Los contaminantes de origen industrial más frecuentes en nuestro país son los metales, siendo las industrias con más variedad de contaminantes la textil, farmacéutica, refinación de petróleo, fabricación de equipo electrónico, la química y petroquímica (Jiménez, 1995).

Los metales son considerados residuos peligrosos por ser tóxicos a determinadas concentraciones (Cortinas de Nava, 2001). Son transportados por aire o acarreados desde la tierra para alcanzar el mar donde sufren transformaciones fisicoquímicas y biológicas. En las zonas estuarinas se enfrentan a cambios en las características del agua que originan diversos procesos, de forma que sólo una pequeña fracción que se encuentra en solución abandona la zona estuarina, y se encuentra disponible para los organismos. La contaminación crónica y en concentraciones subletales, que generalmente no es atendida, permite la bioacumulación y magnificación de estos contaminantes en la cadena alimenticia, hasta llegar al hombre (Botello y Páez, 1987).

El envenenamiento agudo por metales debido al consumo de pescado y mariscos es muy poco probable, principalmente porque los alimentos de origen marino son una pequeña parte de la dieta. Sin embargo, el consumo frecuente de moluscos procedentes de ambientes contaminados puede representar un riesgo de intoxicación crónica, especialmente para los habitantes de áreas costeras (Regoli y Orlando, 1994), ya que los metales posiblemente se fijan en sus tejidos en forma permanente a partir de detritos orgánicos e inorgánicos. Esto resulta preocupante si se considera que las áreas donde el hombre toma sus alimentos es la misma donde descarga sus desechos, producto de sus actividades, como es el caso de las

zonas estuarinas de donde toma la mayor parte de los productos marinos que consume (Mandelli, 1979).

Con relación al área de estudio, es importante considerar el transporte de materiales hacia el mar, tomando en cuenta que Veracruz ocupa el cuarto lugar de todos los estados de la república con mayor frente costero. Presenta un alto grado de humedad debido a que la mayor parte de su territorio se ubica en la vertiente oriental de la Sierra Madre, y por la gran cantidad de ríos que corren hacia sus costas (Garduño y Arenas, 2000); es uno de los estados costeros con mayor porcentaje de escorrentía, que permite el acarreo de desechos desde puntos distantes hacia el mar. Este hecho tiene importantes implicaciones de contaminación en sus aguas, ya que los desechos que se vierten a las cuencas llegan a la costa, en su mayor parte sin tratamiento alguno (OCDE, 1998).

Los metales no son solubles en agua a pH neutros o básicos, y en ambientes acuáticos son adsorbidos principalmente por compuestos inorgánicos o sedimentos, y pueden ser asimilados por los seres vivos. Los organismos bentónicos son los más susceptibles de ser afectados debido a su estrecha interacción con los sedimentos. Tal es el caso del ostión, que constituye una importante pesquería en los estados de Veracruz y Tamaulipas.

Los metales afectan en general los sistemas enzimáticos de los seres vivos, pero sus efectos varían de acuerdo con el organismo y el tipo de metal. El cadmio por ejemplo se acumula en tejidos y afecta principalmente los mecanismos de regulación de iones; el cobre, mercurio y zinc provocan un efecto inhibitorio en el metabolismo respiratorio de crustáceos, y en bivalvos se han observado efectos subletales como la disminución del ritmo cardíaco, deformaciones de la concha, y disminución de la movilidad de los gametos. El plomo provoca efectos crónicos como daños histopatológicos, deformidades, neurotoxicidad, anemia hemolítica e inhibición de la síntesis de la hemoglobina (Botello *et al.*, 1996); en almeja catarina, una mezcla de cadmio, plomo y cromo, reduce la fijación de larvas pedivéliger (Sobrino-Figueroa, 2001).

Es importante subrayar el efecto crónico de la contaminación por metales, que no causa daños tan obvios o críticos como otros contaminantes, y que tal vez tengan a largo plazo un mayor impacto ambiental, lo que resulta en una atención inadecuada del problema ya que no es posible determinar el papel tóxico que juegan los metales en tales circunstancias (Mandelli, 1979).

La contaminación de los cuerpos de agua, especialmente el de las lagunas costeras que son áreas de alta productividad, debería evaluarse considerando la problemática de contaminación en forma integral, de manera tal que se tenga control desde la generación de desechos hasta su disposición final en una cuenca. Este proceso implicaría el tratamiento obligatorio de los efluentes, con el fin de eliminar los diversos contaminantes que afectan el medio acuático y sus pesquerías (pérdida de recursos pesqueros, reducción de capturas, pérdidas en su comercialización) (Mandelli, 1979).

Lo anterior resulta de gran interés si se consideran dos aspectos; el primero es que las capturas pesqueras en México son preferentemente costeras (el 95% del total de las embarcaciones en el Golfo de México están dedicadas a la pesca ribereña) lo que implica que se realizan en áreas estuarino-lagunares o en una franja no muy alejada de la costa, zona de suma importancia para el ciclo de vida de muchos organismos (Contreras y Zabalegui, 1988); y el segundo es que las lagunas en estudio están incluidas dentro de la clasificación hecha por CONABIO/USAID/WWF (1998) como áreas prioritarias marinas, de alta biodiversidad y amenazadas (47. Pueblo Viejo-Tamiahua, 49. Laguna Verde-Antón Lizardo y 50. Sistema Lagunar de Alvarado). Considerando la importancia del recurso, la del área de estudio y los problemas de contaminación por metales en las lagunas costeras, resulta de vital importancia abordar la problemática de la pesquería en forma integral.

II. ANTECEDENTES.

De acuerdo con Escalera (1998), la industria es una de las principales fuentes de contaminación por metales que generan residuos peligrosos o RIP; del total, cerca del 45% corresponde a solventes, aceites y grasas, el resto corresponde a desechos de soldadura, resinas, ácidos y bases, derivados de petróleo, metales pesados y adhesivos. Las industrias química básica, secundaria y petroquímica aportan cerca del 40% del total, le siguen las industrias metalmeccánica y metálica básica con el 10% y la industria eléctrica con el 8%.

Estos residuos se desechan a cuerpos de agua, como es el caso de las aguas residuales del drenaje profundo de la Ciudad de México que llegan hasta la cuenca del río Pánuco; las aguas de desecho se mezclan con las del Valle del Mezquital, del corredor industrial Tula-Tepeji y de diversos distritos de riego cargados de agroquímicos. En su recorrido la cuenca recibe las aguas residuales de San Juan del Río y Querétaro, a través del río Moctezuma, cruza la Huasteca Potosina que tiene entre otras, industrias papeleras, termoeléctricas, azucarera y petrolera; después se une a los desechos procedentes de las industrias petroquímica y petrolera de Tamaulipas, lo que hace de la cuenca del Pánuco una de las más contaminadas del país. Lo anterior repercute en la calidad del agua de la laguna de Tamiahua, que de acuerdo con investigadores de la UAM, su calidad sanitaria es inadecuada para el cultivo de moluscos, la recreación con contacto primario y la protección de la flora y fauna (Teorema Ambiental, 2002).

El ostión es uno de los recursos pesqueros más importantes en el estado de Veracruz por el volumen de captura y la tradición en su consumo. De acuerdo con Botello y Villanueva (2001), el 63.75% de la producción de ostión en el Golfo corresponde a Veracruz, el resto proviene de Tamaulipas, Tabasco y Campeche. La producción en el estado ha disminuido aproximadamente a la mitad en los últimos once años (SAGARPA, 2000) por diversas causas, entre las que se encuentra la calidad del agua de las lagunas donde habita, como resultado de descargas industriales y urbanas; por lo que la calidad del producto se cuestiona en los mercados nacionales e internacionales, en consecuencia no puede exportarse. De acuerdo con estos autores, en una proyección a 20 años se pierden \$100'000,000 U.S. dls, si se considera un monto de exportación de 20,000 TN por año.

Existen diversos estudios que se han realizado sobre contaminación por metales en las lagunas litorales de nuestro país. En diferentes recursos como el ostión, los valores obtenidos permiten tener un parámetro de comparación con los que se obtienen en el presente estudio.

Villanueva (1987) y González (1995), realizan su estudio en lagunas del estado de Veracruz; Villanueva analiza la concentración de metales en sedimentos y organismos (peces, crustáceos y moluscos bivalvos) de los ríos Coatzacoalcos, Tonalá y Laguna del Ostión. Mientras que González determina metales en muestras de sedimentos, agua y organismos (ostión y mejillón) en la Laguna de Sontecomapan.

Rodríguez *et al.* (1994), reportan promedios de concentración de cadmio total para las Lagunas de La Mancha, El Llano y Salada; el de la primera laguna es el que resulta más cercano a los resultados obtenidos por González (1995) para Sontecomapan.

Vázquez *et al.* (1990), estudian las variaciones estacionales de las concentraciones de metales traza (Cd, Cu, Co, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) en *Crassostrea virginica* de la laguna de San Andrés, Tamaulipas. En 1996, realizan un estudio sobre la concentración de Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en *Crassostrea rhizophora* de la Laguna de Términos, Campeche; comparan los resultados de este estudio con concentraciones encontradas para *C. virginica* en México y Estados Unidos. En 1999, determinaron la concentración de Cd, Cu, Ni, Zn, Fe y Mn y parámetros hidrológicos como salinidad, temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, amonio, silicatos y fosfatos en la Laguna de Términos, encontrando una relación positiva entre la concentración de Cd, Cu, Ni, Zn y la salinidad.

Villanueva y Botello (1992) analizan resultados de estudios realizados en el Golfo de México y Caribe, sobre la concentración de metales pesados (Hg, Pb, Cd y Cr), en agua sedimento y organismos. Dicho análisis permite evaluar el impacto que la industria y las actividades humanas han tenido, especialmente en los estados de Veracruz y Tabasco. En 1998, estos mismos autores, realizaron un análisis de los estudios que se hicieron sobre contaminación por metales en las costas mexicanas. Identificaron las principales fuentes de contaminación y cuantificaron los niveles de concentración en agua, sedimento y organismos de ecosistemas costeros como ríos, estuarios, lagunas costeras y plataforma continental, encontrando altas concentraciones de algunos metales en áreas cercanas a ciudades industrializadas como Tampico, Veracruz y Villahermosa.

Villanueva y Botello (1998), compararon las concentraciones de metales de investigaciones realizadas por diversos autores en el Golfo de México; para el Estado de Veracruz analizaron las de Rosales *et al.* (1986a y b) en la laguna de Alvarado y Río Papaloapan, las de Álvarez en el Río Blanco, Rosas y Hernández en la laguna de Mandinga.

Comparando las concentraciones de metales totales en sedimento que reportan los diferentes autores, se tiene el valor más alto para cromo en el estudio de Rosales *et al.* (1996a) en la laguna de Alvarado, y para plomo en el estudio de Hernández; los valores reportados para cobalto, cobre y níquel para Alvarado, Mandinga y Río Blanco son más parecidos entre sí que los de cromo. Para cobalto el valor máximo lo reporta Rosales *et al.* (1986a); para cobre el de Hernández, aunque es muy similar al registrado en el Río Blanco, y para níquel los de las lagunas de Alvarado y Mandinga. En el caso del zinc la concentración máxima se reporta en el Río Blanco (Tablas 76 y 77).

Es interesante señalar que, por ejemplo en los estudios realizados en *Crassostrea virginica* en Mandinga, las concentraciones de cadmio, cromo y plomo son más altas en el estudio realizado por Hernández en 1995, que en el de Rosas de 1983, lo que indica un aumento en la contaminación por estos metales (Tabla 75).

Una posible alternativa para solucionar el problema de contaminación en moluscos bivalvos es la depuración, pero en el caso de los metales, de acuerdo con Lakshmanan y Nambisan (1989), el proceso de depuración en un medio libre de contaminación no se efectúa en un 100%; el porcentaje de eliminación varía para cada metal, ya que en un estudio que se realizó en mejillones contaminados con mercurio, cobre, plomo y zinc, al cabo de períodos de desintoxicación de 20 o 24 días, se eliminó el 23.3% del mercurio acumulado en 20 días; el cobre el 63.3% en 24 días, el zinc 40% en 24 días y el plomo el

18.5% en 24 días, aunque la tasa de ingesta es rápida, la eliminación es lenta. Los resultados demostraron la clara capacidad de éste organismo para acumular grandes cantidades de metales traza del medio.

Es difícil determinar los efectos de la ingesta de metales a largo plazo en la salud humana, de acuerdo con la ATSDR (1990, 1992, 1994, 1997, 1999a, 1999b, 2000) el cadmio se aloja en riñón y lo daña si los niveles son altos, provoca fragilidad de los huesos; el cobalto afecta, entre otras cosas, al sistema respiratorio, cardiovascular, gastrointestinal, hígado y tiroides; el cobre puede causar anemia y tiene efectos gastrointestinales, hepáticos y renales; el cromo causa daños gastrointestinales, hepáticos, renales y efectos hematológicos; el níquel tiene efectos gastrointestinales, hemáticos y hepáticos a dosis altas; el principal blanco del plomo es el sistema nervioso tanto en adultos como en niños, afecta el sistema hematológico, musculoesquelético y renal; el zinc tiene efectos gastrointestinales y hematológicos.

Prácticamente no existen antecedentes de estudios realizados en México relacionados con los posibles efectos toxicológicos debidos a la ingesta de ostión con presencia de metales, Sobrino-Figueroa (2001) señala el posible riesgo por el consumo de almeja catarina en una cantidad de 350 a 900 g, cuyo contenido de cadmio y plomo rebasan las dosis de ingesta seguras en hombres y mujeres de 80 y 50 Kg respectivamente. En función de la importancia de estudios toxicológicos se abordó, en el presente estudio, a nivel de ensayo con el fin de plantear algunos de los problemas que implicaría un análisis de este tipo y el posible riesgo de salud humana por el consumo de ostión con presencia de metales.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

HIPÓTESIS.

1. Si consideramos que el Estado de Veracruz es uno de los estados costeros con mayor escorrentía que permite por un lado, el acarreo de desechos desde puntos distantes de origen y contenidos diversos, y por otro, su acumulación en los sedimentos de lagunas costeras, se esperaría encontrar concentraciones de metales por encima de lo que marca los niveles de referencia internacionales.
2. De ser así y dado que el ostión es un organismo que está en contacto directo con el sedimento, y que por ser filtrador acumula metales, se esperaría encontrar también concentraciones de estos elementos por encima de lo que señala la normatividad nacional e internacional.
3. Si estos procesos ocurriesen, su consumo podría implicar un peligro a largo plazo para la salud humana, en función del proceso de bioacumulación.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar la concentración de metales (cadmio, cobalto, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc) en sedimentos y ostiones de las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua; con el fin de analizar la interacción entre el sustrato, la biodisponibilidad de metales para organismos filtradores como este bivalvo, su bioacumulación y el margen de exposición humana debido a su consumo.

OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Determinar la concentración total y biodisponible de cadmio, cobalto, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc en sedimentos de las lagunas en estudio.
2. Determinar la concentración de cadmio, cobalto, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc totales en tejidos de ostiones procedentes de las áreas costeras en estudio.
3. Realizar un ensayo del margen de exposición por el consumo de ostiones con las concentraciones promedio de metales determinadas en estos moluscos.

IV. ÁREA DE ESTUDIO.

LAGUNA DE ALVARADO.

El sistema lagunar tiene una extensión de 6,200 ha, presenta un ancho máximo de 4.5 Km. Se localiza entre los 18°46' de latitud N y los 95°34' y 95°58' de longitud O. Está formada por la laguna de Alvarado, propiamente dicha, Buen País, Camaronera y Tlalixcoyan, además de pequeños cuerpos acuáticos y zonas inundables. Su comunicación con el mar se realiza mediante una boca natural y una comunicación artificial a la altura de la laguna de Camaronera, que aprovecha las mareas.

Sus principales afluentes son los ríos Papaloapan, Blanco y Acula. Pertenece a la Región Hidrológica No. 28 (DOF, 28 de Agosto 2000), dentro de la cuenca del Papaloapan. Está formado por dos corrientes que se unen a la altura de la Sierra Madre de Oaxaca, cuando se une con el río del *Valle Nacional*, toma el nombre de Papaloapan; se unen los ríos Tonto, San Juan y Tuxtla formando el Salto de Eyipantla; pasa por la Ciudad de Tlacotalpan y desemboca finalmente en la Laguna de Alvarado. Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano [Aw2 (i) w"] y una temperatura media anual de 22-26°C.

CONABIO (1998), señala que la zona del **Sistema Lagunar de Alvarado** tiene poca actividad turística, su economía se basa en la pesca de camarón, robalo y jaiba. La problemática del sistema se debe a la tala de manglar, que tiene importantes implicaciones en la reproducción y alimentación de diversas especies de peces y camarones, que utilizan el manglar como áreas de protección y alimentación; incremento de la erosión y acarreo de sedimentos, daño al ambiente por embarcaciones pesqueras; contaminación por desechos sólidos, agroquímicos, fertilizantes, industriales y de ingenios azucareros; pesca intensiva no controlada y uso de artes de pesca prohibidos (Contreras y Castañeda, 1995; CONABIO, 1998; DOF, 2000).

LAGUNA DE MANDINGA.

El sistema lagunar tiene una extensión de 3,250 ha, se encuentra entre los 19° 00' y 19° 06' de latitud norte y los meridianos 96° 02' y 96° 06' de longitud oeste. Tiene una orientación norte-sur en comparación con la costa cercana en una orientación noroeste-sureste, conformando la punta de Antón Lizardo. Hacia el noroeste las lagunas se separan del mar por una barrera de médanos. La laguna está asociada al río Jamapa y El Estero, el cual nace con los deshielos del Pico de Orizaba. Recibe varios afluentes de los ríos Huatusco, Cotaxtla, Totolapan y desemboca en el Golfo de México a la altura de Boca del Río.

Su clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano [Aw2 (w) (i) w"], con una temperatura anual de 21-28°C. Se presentan tormentas tropicales y nortes.

Las actividades económicas que se realizan en el área **Laguna Verde-Antón Lizardo** son turística, hotelera, industrial, petrolera y pesquera (ostión, jaiba y lisa). Existen importantes

asentamientos urbanos. Su problemática se debe a la tala del manglar, dragados, la alteración de cuencas con cambios hidrológicos e influencia de la planta nucleoelectrica; contaminación por petróleo, aguas residuales, agroquímicos, fertilizantes, desechos industriales, aguas negras y pesca ilegal (CONABIO, 1998).

LAGUNA DE TAMIAHUA.

La laguna de Tamiahua tiene una extensión de 88,000 ha, con una longitud y un ancho máximo de 85 y 18 Km respectivamente. Se localiza entre los 21°06' de latitud N y los 97°23' de longitud O. Al norte colinda con el Río Pánuco y al sur con el Río Tuxpan. Presenta dos bocas, al norte la Barra de Tampachiche, boca artificial abierta en 1978, y al sur la Barra de Corazones, boca natural permanentemente abierta. Pertenece a la región hidrológica No. 27 y sus principales efluentes son los ríos La Laja, Cucharas, Carbajal, Tancochín y los arroyos Tampache y estero Malpas. La mayoría de los ríos y arroyos que drenan en la ribera occidental de la laguna forman en su desembocadura pequeños deltas que tienden a orientarse hacia el norte (Botello, 1994).

Su clima es semicálido semiárido, con lluvias en verano [Aw1 (e) w"], con una temperatura media anual de 22-26°C, se presentan frentes fríos, huracanes y nortes.

La economía del área **Pueblo Viejo-Tamiahua** se basa en la pesca de ostión, lisa y camarón, además de la explotación petrolera. Es una zona prioritaria por su alta diversidad, presenta fuertes problemas de contaminación; alteraciones que datan de más de 50 años, como eutroficación de la laguna y manglar en riesgo; contaminación por descargas de agua dulce y petróleo; arrastres, basura y otros desechos sólidos, aguas residuales, agroquímicos, fertilizantes, descargas termales (salobres e industriales) y dragados; actividades industriales (CONABIO, 1998).

V. MÉTODO.

COLECTA DE MUESTRAS.

Se realizaron muestreos estacionales, tomando en consideración los aspectos climáticos que marcan de manera importante la dinámica de los cuerpos lagunares. Se hicieron muestreos en tres temporadas, la época de nortes caracterizada por la presencia de vientos procedentes del norte (finales de septiembre a principios de marzo), los periodos de secas (mediados de marzo a mayo) y lluvias (de junio a agosto), entre agosto de 1998 y noviembre de 1999. Los muestreos de las épocas de secas y lluvias en Tamiahua se desfazaron, el primero por cuestiones prácticas y el segundo, por las inundaciones que impedían el paso a la zona de muestreo.

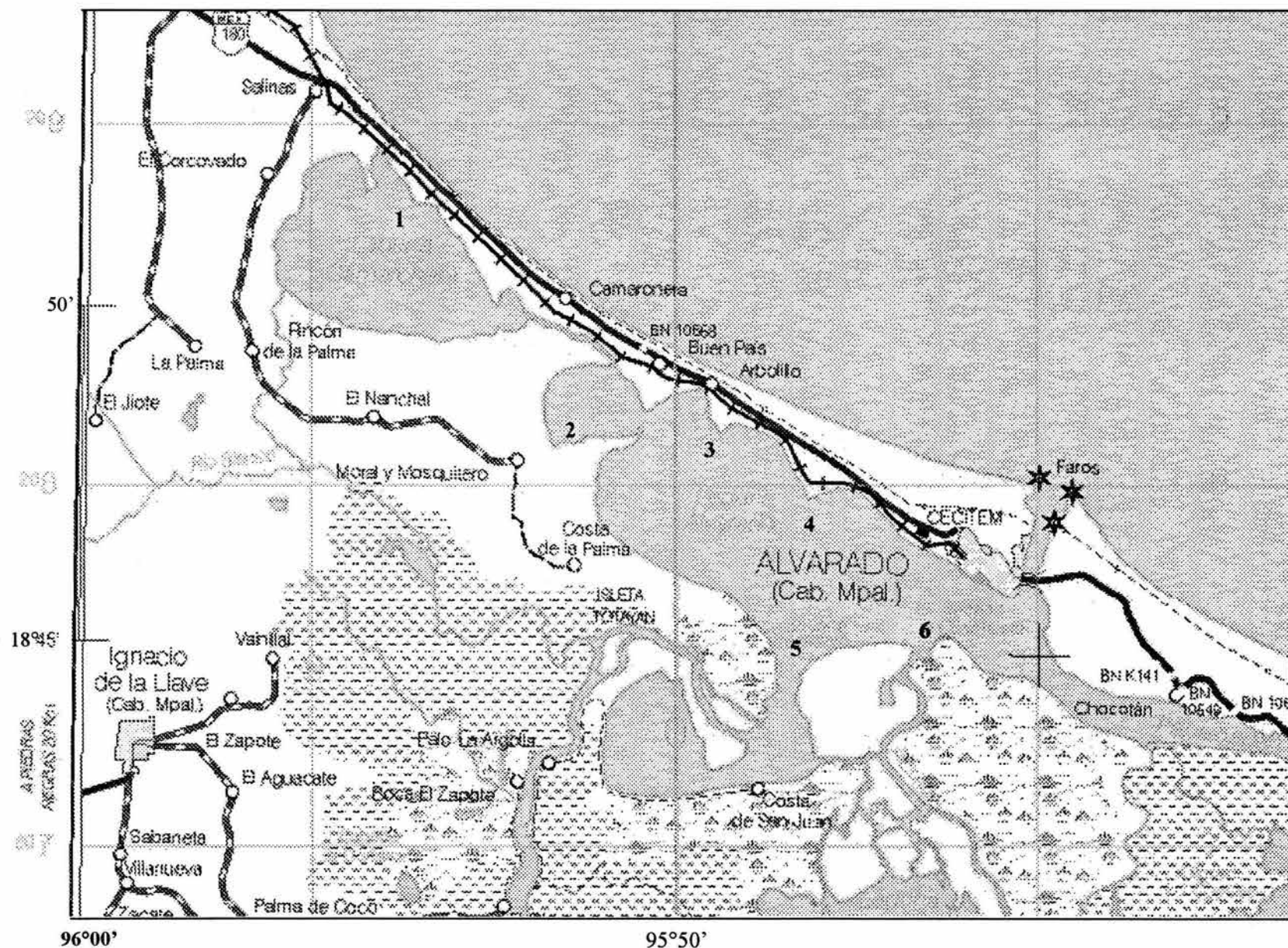
Los muestreos se realizaron de acuerdo a la Tabla 1:

Sistema lagunar/Epoca	Nortes	Secas	Lluvias
Alvarado	19/III/98	14/VI/99	14/VIII/98
Mandinga	12/XI/99	15/VI/99	13/VIII/99
Tamiahua	18-19/XI/99	22/VI-4/VII/99	8-10/IX/99

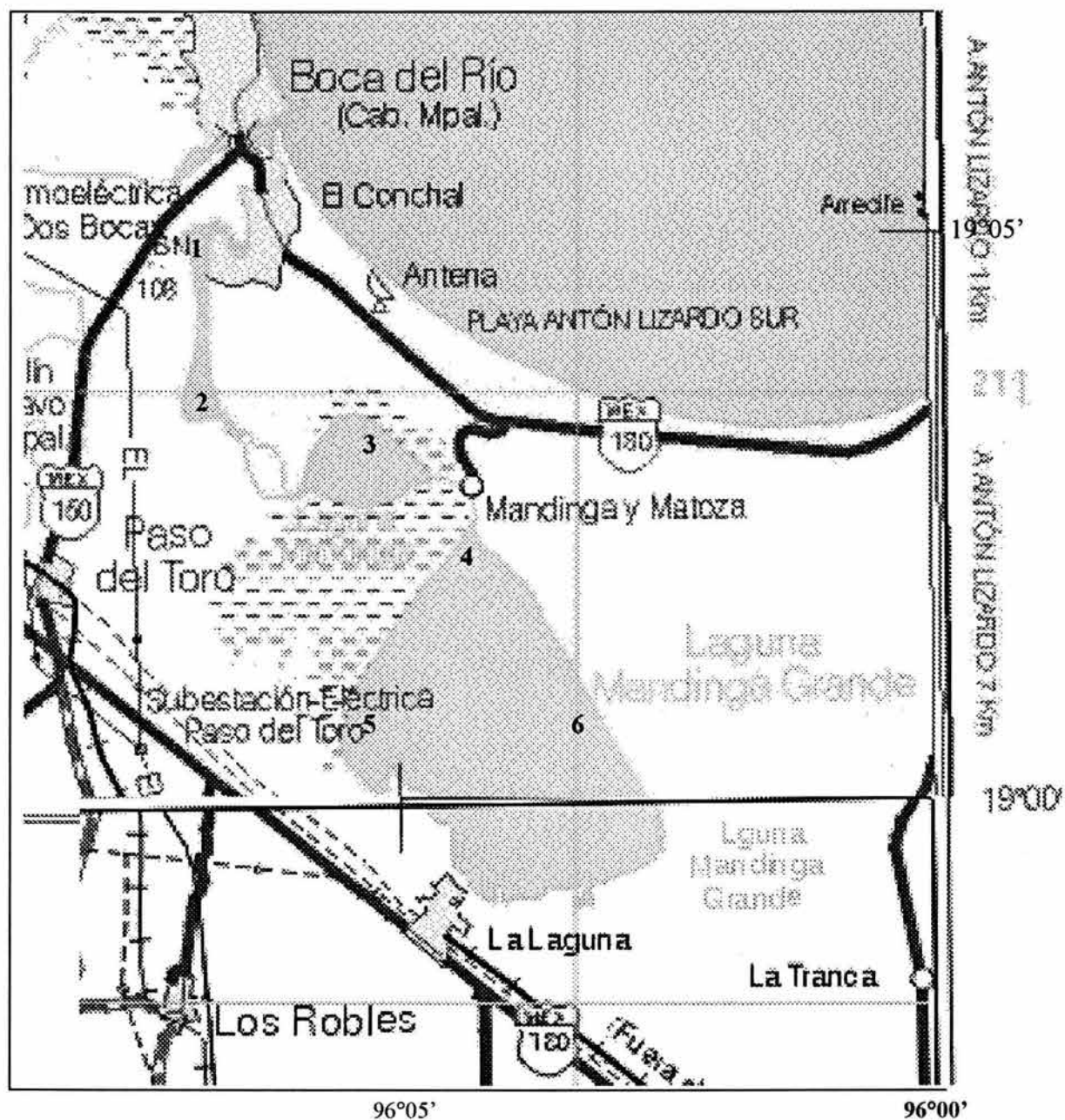
Las estaciones se distribuyeron de forma que se cubriera la superficie lagunar. Para los sistemas lagunares de Alvarado y Mandinga se planearon 6 estaciones de muestreo y 9 para Tamiahua. En la Tabla 2 se presentan las estaciones por sistema lagunar (Mapas 1, 2 y 3):

Sistema lagunar	Estaciones
Alvarado (Mapa 1)	1.Frente al Canal, 2.Cabezo Largo, 3.Tres Palmas, 4.Arbolillo, 5.Boca del Tragadero, 6.Isleta.
Mandinga (Mapa 2)	1.Conchal, 2.Matosa, 3.Laguna la Redonda, 4.Mandinga de Agua, 5.Caño Salazar, 6.Caño los Perros.
Tamiahua (Mapa 3)	1.Punta Mangle, 2.La Loza, 3.La Laja, 4.Cabo Rojito, 5.Isla del Toro, 6.Boca de Cucharas, 7.Punta Tancochin, 8.Estero Tampache, 9.Boca Corazones.

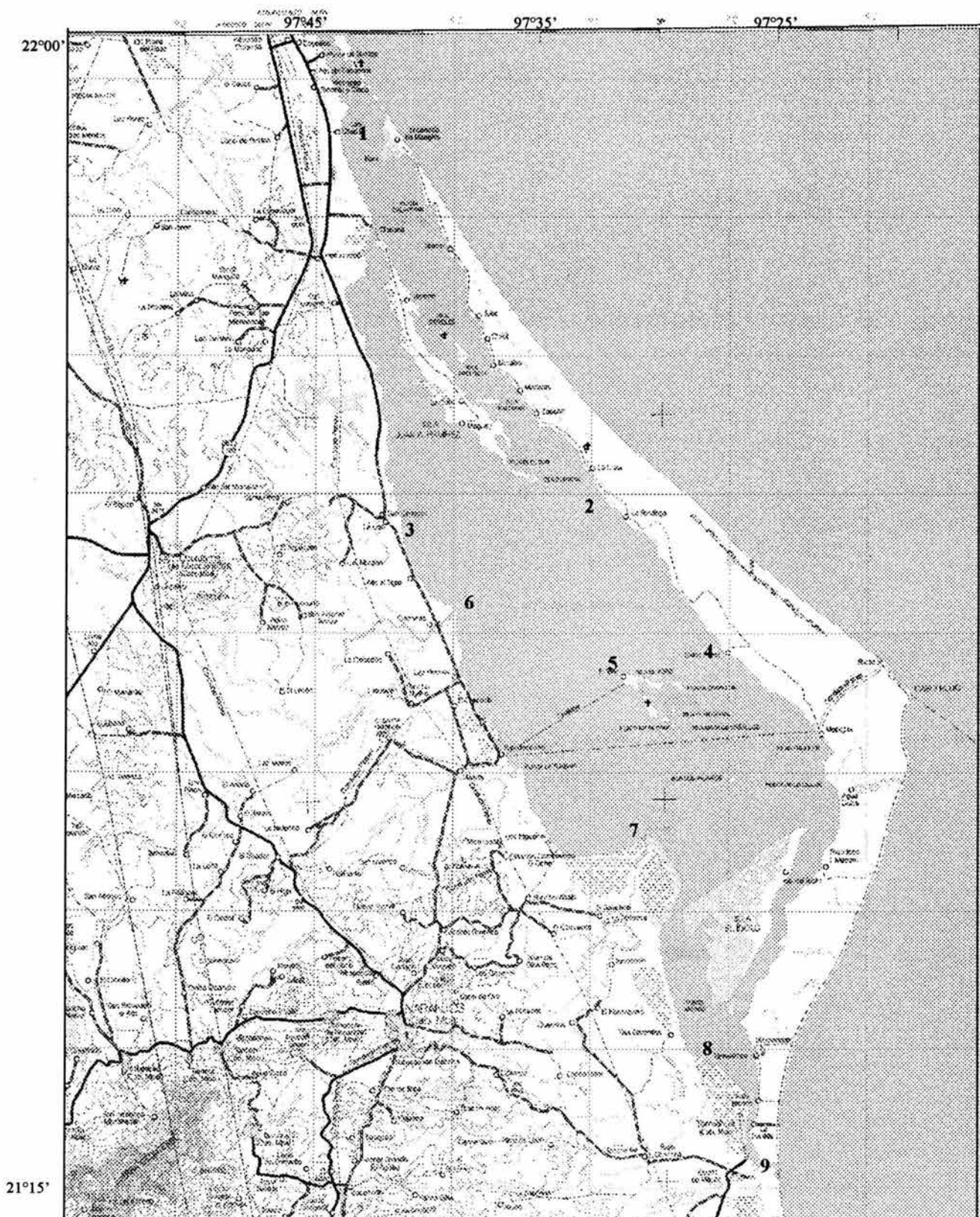
En cada estación se tomaron muestras de sedimento y organismos (si había disponibles) y se registró el pH y la salinidad en el agua superficial en cada estación de muestreo; ésta última permitió contar con un criterio para agrupar las estaciones de muestreo en tres sitios, tomando en consideración los valores de salinidad y su posición dentro de la laguna, lo anterior se hizo con el fin de comparar los resultados obtenidos entre estaciones, en función de que no se realizaron duplicados de muestras en cada estación, éstas se agruparon en: 1. Estaciones con influencia marina, 2. Estaciones en contacto con otros cuerpos de agua, 3. Estaciones interiores.



Mapa 1. Estaciones de muestreo en la Laguna de Alvarado, Ver.



Mapa 2. Estaciones de muestreo en la laguna de Mandinga, Ver.



Mapa 3. Estaciones de muestreo en la laguna de Tamiahua, Ver.

Para la obtención de las muestras de sedimento se utilizó una draga Van Veen con recubrimiento epóxico de 2 litros de capacidad. La muestra se tomó del interior de la draga con una cuchara de plástico procurando tomar el sedimento que no estaba en contacto con las paredes de ésta. Se dispuso el sedimento en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y se transportaron en hielo para su posterior tratamiento y análisis en el laboratorio.

La obtención de muestras de organismos se enfocó principalmente al ostión (*Crassostrea virginica*), en función de los problemas de sanidad que tiene el recurso y por ser una importante pesquería en el estado de Veracruz. Éstas se colectaron en la estación o en un área cercana y se colocaron en bolsas de polietileno; se empacaron con hielo para su traslado y posterior almacenaje en un congelador a 4°C.

TRABAJO DE LABORATORIO.

Todo el material utilizado para el análisis de metales se lavó previamente con HCl 2N y HNO₃ 2N, manteniéndolo durante tres días en cada ácido. Posteriormente se enjuagó con agua desmineralizada, y una vez seco se guardó en bolsas de polietileno para su uso posterior (Bertini *et al.*, 1976; Moody y Lindstrom, 1977).

Las muestras de organismos y sedimento se deshidrataron en un horno a 50°C por un lapso promedio de 24 horas, y posteriormente se pulverizaron con morteros de porcelana, hasta obtener un polvo fino que se tamizó con una malla de 250 µ. Cabe señalar que las muestras de organismos se procesaron en su totalidad sin tomar en consideración clases de talla.

En el proceso de tratamiento de las muestras se preparó un blanco de referencia por cada ocho muestras de organismos y sedimentos, éste se sometió al mismo tratamiento que las muestras (Hamilton, 1980).

Para la lectura de las muestras se realizó una curva patrón correspondiente a cada metal analizado, las determinaciones se hicieron en un espectrofotómetro de absorción atómica con lámparas de cátodo hueco para cada metal y con lámpara de deuterio para hacer correcciones de fondo, y con flama aire-acetileno, marca Shimatzu Modelo 6800.

Metales totales en tejido de organismos (IAEA, 1984).

- Se pesó 1.0 g de tejido seco y pulverizado.
- Se puso en las bombas de teflón, agregando 5 ml de HNO₃ concentrado. Dejando digerir toda la noche a temperatura ambiente.
- Se hizo una segunda digestión en las bombas de teflón cerradas y prensadas en planchas de aluminio, a 140°C por 3 h. El sobrenadante se recogió con pipetas Pasteur de plástico.
- Se aforó el sobrenadante a 25 ml con agua bidestilada y desmineralizada.
- La muestra se leyó por Absorción atómica.

Metales totales en sedimento (Agemian & Chau, 1976 modificado por Páez-Osuna, 1988).

- Se pesaron 0.25 g de sedimento seco y pulverizado, y se realizó una digestión con 12 ml de HNO₃ concentrado a 110° durante 18 horas en bombas de teflón y planchas de aluminio en una cama de arena.
- Se centrifugó el producto de la digestión a 2500 rpm por 30 min. tapando los tubos de centrífuga con parafilm. El sobrenadante se recogió con pipetas Pasteur de plástico y se transfirió a un frasco de plástico.
- El residuo se centrifugó con 18 ml de agua destilada, se colecta el sobrenadante y se dispuso en el frasco junto con el anterior centrifugado.
- La muestra se leyó por absorción atómica.

Metales biodisponibles.

Los datos de concentración total de metales por sí solos no permiten una evaluación correcta de la disponibilidad potencial que tienen para los organismos (Jenne y Luoma 1975; Loring, 1978). Esto se debe a que una parte del contenido total de los metales reside en partículas sólidas y en minerales de los sedimentos, incorporándose a éstos como una porción “no detrítica”, por acción de diferentes procesos como son la precipitación, la floculación y la adsorción.

El tratamiento de un ácido débil diluido (CH₃OOH al 25%) permite remover esta fracción de los metales la cual se asocia con carbonatos, o bien con compuestos amorfos de Fe y Mn, que son fácilmente solubles o débilmente adheridos a partículas de materia orgánica (Luoma y Jenne, 1976; Malo, 1977; Agemian y Chau, 1976; Loring, 1979). La fracción de los metales unida de esta manera se denomina porción “no detrítica o biodisponible” la cual representa a aquella porción de los metales fácilmente removibles, que pueden estar disponibles para los organismos.

Para obtener esta fracción se realizó el siguiente método:

- Se pesaron 2.0 g de sedimento seco, se agregaron 25 ml de CH₃OOH al 25%, agitando manualmente en forma ocasional.
- Se dejaron digerir por 24 h a temperatura ambiente, tapando el matraz con un vidrio de reloj.
- El producto de la digestión se centrifugó a 2500 rpm por 25 min.
- El sobrenadante se aforó a 50 ml.
- La muestra se leyó por absorción atómica.

Se realizó el cálculo del límite de detección del equipo con base en las lecturas del estándar de menor concentración de cada metal, de acuerdo a la fórmula de Cantle (1982):

$$LD = \frac{(C.E.M.C.) \ 3(D.S. \ de \ 3 \ lecturas)}{promedio \ de \ lecturas}$$

Se obtuvieron los siguientes límites (Tabla 3):

Tabla 3. LÍMITES DE DETECCIÓN ($\mu\text{g g}^{-1}$)							
Lecturas de absorción de los estándares							
C.E.M.C. (mg/l)	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Lectura 1	0.0019	0.0009	0.0024	0.0053	0.0023	0.0009	0.0211
Lectura 2	0.0118	0.0018	0.0030	0.0049	0.0049	0.0004	0.0211
Lectura 3	0.0190	0.0012	0.0028	0.0061	0.0056	0.0006	0.0213
Promedio	0.0109	0.0013	0.0027	0.0054	0.0043	0.0006	0.0212
D.S.	0.0086	0.0005	0.0003	0.0006	0.0017	0.0003	0.0001
L.D.	0.2363	0.1058	0.0335	0.0337	0.1223	0.1192	0.0016

C.E.M.C.- Concentración del estándar de menor concentración.

D.S.- Desviación estándar de las tres lecturas.

L.D.- Límite de detección del equipo

Los resultados obtenidos para metales totales en sedimentos se compararon con los valores que producen efectos biológicos adversos (V.S.E.B.) (Long *et al.*, 1995). Para el caso de los organismos, las concentraciones obtenidas para cadmio, cromo, níquel y plomo, se compararon con los Niveles Críticos para Consumo de Moluscos de la FDA (1993), en función de que Estados Unidos es el principal país importador de productos pesqueros mexicanos (SAGARPA, 2000); para el cadmio y mercurio se comparó con los valores máximos que establece la NOM-031-SSA1-1993. Para el cobre y zinc se compararon con el valor máximo promedio permitido en diversos países (Nauen, 1983), en función de que éstos varían en cada país, y en ocasiones en el mismo país, se promediaron los valores de concentración límite **Tabla 4. Límites máximos permitidos de Cu y Zn en moluscos por metal y se obtuvo la desviación estándar (Tabla 4):**

bivalvos, en diferentes países/regiones			
COBRE		ZINC	
País/región	$\mu\text{g g}^{-1}$	País/región	$\mu\text{g g}^{-1}$
Australia	70.0	Australia	1000
Australia-Nueva Gales	30.0	Australia-Tasmania	1500
Gran Bretaña	20.0	Australia-Nueva Gales	40
Venezuela	10.0	Australia-Victoria	1000
		Gran Bretaña	50
Promedio	32.5	Promedio	718
D.S.	15.9	Desviación estándar	647.4

Las Figuras 1 y 2 muestran los valores promedio por país/región, y su desviación estándar:

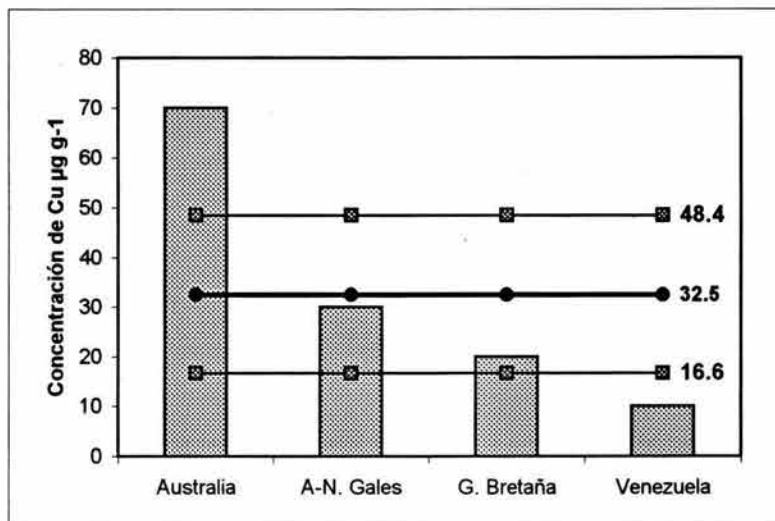


Fig. 1. Límites máximos permitidos de cobre en mariscos y moluscos bivalvos por país/región.

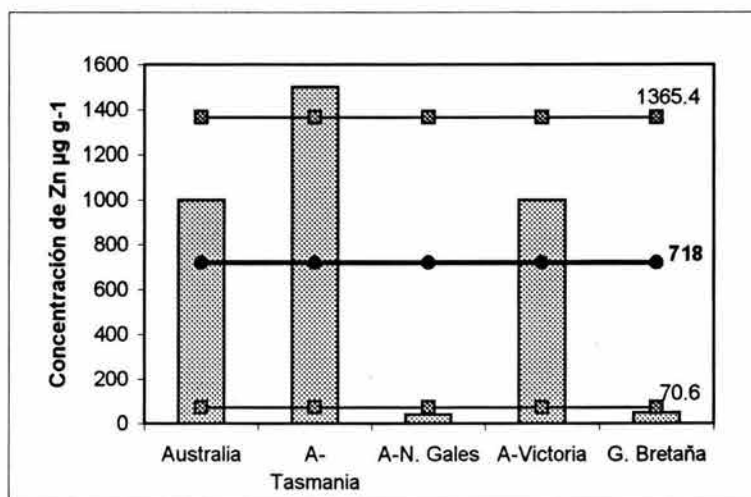


Fig. 2. Límites máximos permitidos de zinc en mariscos y moluscos bivalvos por país/región.

En relación con el cobalto, para el cual no existen valores de concentración límite, los resultados obtenidos en el presente estudio se compararon con datos obtenidos para áreas consideradas como no contaminadas o con concentraciones reportadas para cuerpos de agua del Golfo de México.

MÉTODO PARA DETERMINAR MATERIA ORGÁNICA.

Para la determinación de Carbono Orgánico Total (COT) se empleó la técnica descrita por Gaudette *et al.* (1974). Todas las muestras se trabajaron por duplicado.

Procedimiento:

1. Se pesaron entre 0.2 y 0.5 g de sedimento seco y tamizado (usando la fracción retenida en la malla de 0.2 mm, la cantidad de muestra estuvo en función del contenido de materia orgánica).
2. Se colocó la muestra en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, agregando 10 ml de la disolución de $K_2Cr_2O_7$ 1N (medidos con una pipeta volumétrica).
3. Se agregaron 20 ml de H_2SO_4 concentrado y se mezclaron por un minuto, agitando suavemente el matraz con objeto de asegurar la completa mezcla de los reactivos con los sedimentos, teniendo cuidado de que la muestra no quedara adherida a las paredes del matraz con el fin de asegurar su contacto con los reactivos.
4. Se dejó la muestra por 30 min., y se diluyó a 200 ml con agua destilada.
5. Se agregaron 10 ml de H_3PO_4 al 85%, 0.2 g de cristales de NaF y 15 gotas de indicador de difenilamina ($C_{12}H_{10}NH$).
6. Se tituló con la disolución de $FeSO_4$ 0.5 N. Observando atentamente los cambios de color que sufrió la muestra, de café verdoso a verde-azul oscuro, y en el punto de equivalencia hasta alcanzar un tono verde esmeralda brillante.
7. Se preparó un blanco, que contenía todos los reactivos pero al que no se agregó muestra de sedimento, sometiéndolo al procedimiento antes descrito.

Para el cálculo de carbono orgánico en sedimento se utilizó la fórmula:

$$\% \text{Carbono orgánico} = 10 (1-T/S) [1.0 N (0.003) (100/W)]$$

donde: T= ml de solución $FeSO_4$ en la titulación de la muestra.
 S= ml de solución $FeSO_4$ en la titulación del blanco.
 0.003= 12/4000 (peso miliequivalente del carbono).
 1 N= Normalidad del $K_2Cr_2O_7$.
 W= peso de la muestra de sedimento en gramos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

Se analizó la distribución de las variables para el supuesto que éstas tuvieran una distribución normal, lo que se requiere para las pruebas de análisis de varianza. Aquellas que cumplieron con el supuesto se analizaron directamente, y las que no, se transformaron para lograr una homogeneización de las varianzas. Para probar la normalidad de los datos se analizó el sesgo y momento de Curtosis y se realizó una prueba de distribución de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov). Para aquellos casos que ni aún con la transformación se

logró una aproximación a la normal, los datos se analizaron mediante estadística no paramétrica (Prueba de Kruskal Wallis) (Ato y López, 1994).

Se realizaron análisis estadísticos de los resultados de las lecturas con el fin de comparar los niveles de metales entre lagunas, para lo cual se formularon las siguientes hipótesis:

Ho: No hay diferencias significativas entre las concentraciones promedio por metal obtenidas en las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua

Ho: No hay diferencias significativas entre las concentraciones promedio por metal obtenidas en las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua, en las diferentes épocas de muestreo

Ho: No hay diferencias significativas entre las concentraciones promedio por metal obtenidas en las lagunas de Alvarado, Mandinga, y Tamiahua, en los tres sitios considerados

Con el fin de analizar la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones de metales en diferentes épocas y sitios de muestreo para cada laguna, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) factorial (3x3) (épocas y sitios) con el fin de probar las siguientes hipótesis:

Ho: No hay diferencias significativas entre las concentraciones promedio por metal encontradas para la laguna de Alvarado en las diferentes épocas y los tres sitios considerados

Ho: No hay diferencias significativas entre las concentraciones promedio por metal encontradas para la laguna de Mandinga en las diferentes épocas y los tres sitios considerados

Ho: No hay diferencias significativas entre las concentraciones promedio por metal encontradas para la laguna de Tamiahua en las diferentes épocas y los tres sitios considerados

Se tomó como regla de decisión: Rechazo Ho si $P < 0.05$

Se analizó la relación entre la concentración de metales en ostión y la encontrada en sedimento (total y biodisponible), porcentaje de carbono orgánico y pH (en función de que éste facilita los cambios químicos en los metales que afectan su biodisponibilidad), para lo cual se hicieron regresiones múltiples.

En las tablas 5, 6 y 7 se muestran los valores de salinidad y pH para los tres sistemas lagunares en las tres épocas de muestreo:

Época	Estaciones					
	1	2	3	4	5	6
Nortes	4.0	1.3	4.0	4.0	1.3	0
Lluvias	10	0.4	0.1	0	0	0
pH						
Nortes	7.6	7.7	8.2	8.2	7.3	8.2
Lluvias	7.5	7.6	7.4	7	5.9	6.9
Secas	8.3	7.6	7.4	7.4	7.8	8.0

La estación 1 (frente al canal) se consideró como Sitio 1, en función de los valores de salinidad, se considera que la zona tiene afluencia de agua marina a través del canal artificial en la Laguna de Camaronera. En el Sitio 2, quedaron agrupadas las estaciones 2 (Cabezo Largo) por estar en contacto con la Laguna de Camaronera; 5 (Boca de Tragadero) con la Laguna de Tlalixcoyan que recibe el aporte de los ríos Blanco y Acula y la 6 (Isleta) por ubicarse próxima a la desembocadura del Río Papaloapan. El Sitio 3 agrupa las estaciones 3 (Tres Palmas) y 4 (Arbolillo).

Para Mandinga los datos de salinidad del agua superficial (‰) y pH obtenidos, en cada estación y época de muestreo, son (Tabla 6):

Época	Estaciones					
	1	2	3	4	5	6
Nortes	14	4	10	10	10	10
Lluvias	16	13	17	11	13	15
pH						
Nortes	7.5	7.6	7.6	7.3	7.7	7.5
Lluvias	7.2	7.4	7.5	7.6	7.7	7.6
Secas	8.0	7.7		7.5	7.6	7.6

La estación 1 (Conchal) se clasificó como Sitio 1 por su cercanía a la desembocadura del Río Jamapa, que se refleja en los valores de salinidad. Las estaciones 2 (Matosa) y 3 (Laguna la Redonda) se agruparon en el Sitio 2, por estar en contacto con otros cuerpos de agua, y en el Sitio 3 se agruparon las estaciones 4 (Mandinga de Agua), 5 (Caño Salazar) y 6 (Caño los Perros).

En la Tabla 7 se presentan los valores de salinidad del agua superficial (‰) y pH de la Laguna de Tamiahua por época y estación de muestreo:

Tabla 7. Salinidad (‰) Laguna de Tamiahua									
Época	Estaciones								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nortes	16	10	8	10	10	8	8	8	12
Lluvias	22	22	18	19	18	18	18	18	20
Secas	24	24	26	20	25	26	27	35	38
pH									
Nortes	7.9	7.6	7.9	7.8	7.9	8.0	7.6	7.5	7.6
Lluvias	8.1	7.9	8.0	7.9	7.8	7.8	7.4	8.0	7.6
Secas	7.3	7.5	7.2	7.6	7.2	7.3	7.8	8.0	8.0

En el Sitio 1 se agruparon las estaciones 8 (Estero Tampache) y la 9 (Boca de Corazones), por su ubicación y valores de salinidad altos (en la época de secas principalmente). El Sitio 2 comprende a las estaciones 6 (Boca de Cucharas) y 7 (Punta Tancochín) que reciben la influencia de agua dulce de los esteros del mismo nombre. El Sitio 3 agrupa a las estaciones de la 1 a la 5 (Punta Mangle, La Loza, La Laja, Cabo Rojito e Isla del Toro).

ENSAYO TOXICOLÓGICO.

Se realizó el ensayo con base en el método para evaluar el margen de exposición (MOE), que consta de tres pasos, riesgo de toxicidad, riesgo de exposición y caracterización de riesgo. El primero se refiere al estudio del potencial toxicológico de un químico para producir efectos adversos en la salud humana, para lo cual se analizan estudios realizados en animales; las concentraciones utilizadas en dichos estudios incluyen niveles por encima de los cuales están expuestos generalmente los seres humanos. El segundo analiza las rutas y niveles de exposición humana, partiendo del hecho que el grado de exposición depende del uso que se da al químico y de la ruta de éste en el ambiente. La caracterización del riesgo es la integración de los datos de toxicidad del contaminante y de exposición para predecir la probabilidad de efectos adversos en la salud humana.

La evaluación de la exposición a través de los alimentos está en función del tipo y cantidad de alimento consumido y de los residuos del químico en o relacionado con ese alimento, se consideran dos tipos de exposición por dieta, crónica y aguda. El fundamento de cualquier modelo, para estimar la exposición a una dieta con residuos químicos en el alimento, parte del hecho que la exposición depende de la concentración de dichos residuos y de la cantidad de alimento consumido, dando como resultado:

$$\text{Químico ingerido} = (\text{concentración residuos } \mu\text{g/g}) (\text{alimentos consumidos g/día})$$

Partiendo de este modelo básico, se calculó la cantidad de químico ingerido o exposición de la siguiente manera:

$$E \text{ (mg metal/kg/día)} = \frac{(C.P.M.O. \text{ mg/g}) (I \text{ g/día})}{\text{peso corporal (kg)}}$$

Donde: Exposición (E), Concentración promedio del metal en ostión (C.P.M.O.), Ingesta (I).

La concentración promedio del metal en ostión es la calculada de los resultados obtenidos por laguna y por época de muestreo. La ingesta equivale al consumo per cápita de ostión a escala nacional tomado del Anuario Estadístico de Pesca (SAGARPA, 2001), con un valor de 0.47 kg/año, equivalente a 1.288 g/día, cuyo cálculo toma en consideración los datos del Censo de Población realizado por INEGI en el 2000, más un 1.15% de crecimiento por año para actualizar el dato a 2001.

Los pesos considerados fueron los de un individuo masculino y un femenino adultos, un niño y una niña de 8 años; edad escogida de manera arbitraria. Las tablas de talla y peso presentan un máximo de edad de 18 años, a la que se consideran ya adultos; para un individuo masculino corresponde un peso promedio de 66 kg y una talla promedio de 1.72 m; para una mujer 56.1 kg y una talla promedio de 1.59 m; para el niño 25.720 kg y 1.25 m de talla promedio y para la niña 25.350 kg y una talla promedio 1.25 m (Ramos, 2001).

El margen de exposición o MOE (de sus siglas en inglés Margin Of Exposure), equivalente al margen de seguridad, permite evaluar las dosis de exposición a metales que pueden representar un peligro en el consumo de ostión; en el proceso se compara el nivel de exposición humana con el valor más bajo de las dosis utilizadas en estudios con animales y, ocasionalmente, el hombre y en las cuales no se observan efectos adversos, dicho nivel se conoce como NOAEL (de las siglas en inglés No Observed Adverse Effect Level).

Para el cálculo del MOE, se tiene que:

$$MOE = \frac{NOAEL}{\text{Exposición estimada en el ser humano}}$$

Para calcular el margen de exposición se toma como referencia un valor de 10, si el NOAEL se deriva de un estudio en humanos y de 100 (10 x 10) si se deriva de animales. El valor de referencia 100 se basa en que los resultados se extrapolan de animales a humanos, tomando en consideración que los asesores de riesgo generalmente asumen que los efectos adversos en animales pueden replicarse en humanos, y que éstos pueden ser 10 veces más sensibles que la especie animal más sensible probada, esto se asume a menos que exista suficiente información que indique lo contrario. El factor 10 se refiere a la variabilidad interindividual en susceptibilidad a efectos tóxicos (Blessing, 1999).

De forma que sí:

MOE > 10 o 100 el grado de seguridad es mayor

MOE < 10 o 100 el riesgo es mayor.

Son diversos los estudios que se han realizado para obtener los NOAEL a exposiciones agudas, intermedias y crónicas. Los criterios para escoger los utilizados en el presente ensayo fueron: considerar los estudios más recientes (realizados de la década de los noventa a la fecha), tomando en cuenta, de preferencia, los que se referían a seres humanos, en su defecto se utilizaron los NOAEL calculados para otras especies como monos, ratones, ratas o perros. Si no existían estudios recientes se consideraban los más actuales. Bajo estos criterios se escogieron dos NOAEL por metal, uno para exposiciones agudas y otro para crónicas, en el caso de cobalto y cobre se consideró la exposición intermedia ya que no se tenían datos disponibles de exposición crónica (ATSDR, 1990, 1992, 1994, 1997, 1999a, 1999b, 2000).

A continuación se describen los estudios en los que se basan los NOAEL utilizados en el cálculo del MOE.

CADMIO (ATSDR, 1999).

Exposición aguda

NOAEL: 13.9 mg/Cd/kg/día

Compuesto: Cloruro de cadmio (CdCl₂)

Fuente: Borzelleca, J.F., E.C. Clarke y L.W. Condrie. 1989. Short-term toxicity (1 and 10 days) of cadmium chloride in male and female rats: Gavage and drinking water. J. Am. Coll. Toxicol. 8:377-404.

Organismos utilizados: 2 a 20 ratas Sprague-Dawley

Tiempo de exposición: 10 días

Dosis y efectos: se presentó necrosis hepática, decremento en el flujo sanguíneo y evidencia histopatológica de daño renal; en machos atrofia testicular y necrosis.

Exposición crónica

NOAEL: 0.002 mg/Cd/kg/día

Compuesto: No especificado

Fuente: Nogawa, K., R. Honda, T. Kido *et al.*, 1989. A dose-response analysis of cadmium in the general environment with special reference to total cadmium intake limit. Environ. Res. 48:7-16.

Organismos: humanos

Tiempo de exposición: de por vida

Dosis y efectos: 2000 mg provocó daño renal debido a los altos niveles de β_2 microglobulina en orina en una persona de 53 Kg de peso.

COBALTO (ATSDR, 1992).

Exposición aguda

NOAEL: 24.8 mg/Co/kg/día

Compuesto: cloruro de cobalto

Fuente: Paternian, J.L., J.L. Domingo y J. Corbella. 1988. Developmental toxicity of cobalt in the rat. J. Toxicol Environ. Health. 24:193-200.

Organismos utilizados: rata

Tiempo de exposición: 6-15 días

Dosis y efectos: 24.8 mg/Kg/día se trataron organismos en gestación y no se observaron efectos negativos en el crecimiento fetal y su supervivencia.

Exposición intermedia

NOAEL: 0.6mg/Co/kg/día

Compuesto: cloruro de cobalto

Fuente: Holly, R.G. 1955. Studies on iron and cobalt metabolism. J. Am. Med. Assoc. 158: 1349-1352.

Organismos: humanos

Dosis y efectos: Con dosis de 0.6-1 mg/Kg/día no hubo efectos adversos en corazón; de 0.5-0.6 mg/Kg/día durante 90 días, en mujeres en gestación se realizaron pruebas de funcionamiento hepático y resultaron normales; un pequeño porcentaje de pacientes se quejó de intolerancia gástrica. No se afectó el desarrollo fetal.

COBRE (ATSDR, 1990).

Exposición aguda

NOAEL: 39 mg/Cu/kg/día

Compuesto: sulfato de cobre

Fuente: NTP (1990^a). National Toxicology Program. U.S. Department of Health and Human Services. Sin cita bibliográfica.

Organismos utilizados: ratones

Tiempo de exposición: 14 días

Exposición intermedia

NOAEL: 14 mg/Cu/kg/día

Compuesto: sulfato de cobre

Fuente: NTP (1990a). National Toxicology Program. U.S. Department of Health and Human Services. Sin cita bibliográfica.

Organismos utilizados: ratas

Tiempo de exposición: 13 semanas

Dosis y efectos: Ratas y ratones expuestos a sulfato de cobre en agua o dieta por 14 días o en la dieta después de 13 semanas, presentaron hiperplasia de la mucosa al inicio del estómago. Ratas expuestas a ≥ 40 mg Cu/kg/día presentaron un decremento en los valores de hemoglobina y hematocrito. Se reportó un incremento en la formación de gotitas hialinas y degeneración tubular renal en ratas expuestas a una dieta con sulfato de cobre a una dosis de ≥ 14 mg/kg/día durante 13 semanas.

CROMO (ATSDR, 2000)

Exposición aguda

NOAEL: 53.2 mg/Cr/kg/día

Compuesto: dicromato de potasio (IV)

Fuente: Junaid, M., R.C. Murthy y D.K. Saxena. 1996b. Embryotoxicity of orally administered chromium in mice: Exposure during the period of organogénesis. Toxicol. Lett. 84:143-148.

Organismos utilizados: ratones

Tiempo de exposición: 6-14 días

Dosis y efectos: Durante la organogénesis se sometieron grupos de 10 hembras albinas Suizas a dicromato (IV) de potasio, en dosis de 53.2, 101.1 y 152.4 mg/kg/día en agua, durante un periodo de 6 a 14 días, con un grupo control. No se observaron cambios notables en la conducta, se redujo el aumento de peso gestacional en un 8.2 y 30% en los grupos de dosis intermedia y alta, el número de fetos muertos fue mayor en la dosis alta; se presentó también una significativa incidencia en la pérdida post-implantación, no se observaron anomalías estructurales significativas en la progenie de ninguno de los grupos tratados.

Exposición crónica

NOAEL: 0.46 mg/Cr/kg/día

Compuesto: acetato de cromo (III)

Fuente: Schroeder, H.A., J.J. Balassa, y W.H. Vinton Jr. 1965. Chromium, cadmium and lead in rats: Effects on life span, tumors and tissue levels. J. Nutr. 86:51-66.

Organismos utilizados: ratas

Tiempo de exposición: 2-3 años

Dosis y efectos: 0.46 mg/kg/día en el agua, los exámenes histológicos revelan que no se presentaron lesiones en corazón, hígado o riñón, ni alteraciones en el peso corporal.

NÍQUEL (ATSDR, 1997).

Exposición aguda

NOAEL: 0.018 mg/Ni/kg/día

Compuesto: sulfato de níquel

Fuente: Sunderman, F.W. Jr, S.M. Hopfer, K.R. Sweeney *et al.*, 1989b. Nickel absorption and kinetics in human volunteers. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 191: 5-11.

Organismos: humano

Tiempo de exposición: única

Dosis y efectos: un hombre expuesto a una dosis de sulfato de níquel al 0.05 mg/kg en agua presentó pérdida de la visión en la mitad lateral de los ojos, efecto que duró 2 horas, situación que no se observó en los 9 individuos restantes cuando se usaron dosis menores (0.018 y 0.012 mg Ni/kg).

Exposición crónica

NOAEL: 7.5 mg/Ni/kg/día

Compuesto: sulfato de níquel, sales de níquel, cloruro de níquel

Fuente: Ambrose, A.M., P.S. Larson, J.F. Borzelleca *et al.*, 1976. Long term toxicologic assessment of nickel in rats and dogs. *J. Food Sci. Technol.* 13:181-187.

Organismos utilizados: ratas

Tiempo de exposición: 2 años

Dosis y efectos: Con tratamientos de sales de níquel a dosis de ≥ 8.6 mg Ni/kg/día no se reportan cambios en el cerebro de ratas como resultado de exámenes microscópicos.

PLOMO (ATSDR, 1999).

Exposición aguda

NOAEL: 39 mg/Pb/kg/día

Compuesto: acetato de plomo

Fuente: Kennedy, G.L., D.W. Arnold y J.C. Calandra. 1975. Teratogenic evaluation of lead compounds in mice and rats. *Food Cosmet. Toxicol.* 13:629-632.

Organismos utilizados: ratas y ratones

Tiempo de exposición: 6-16 y 5-15 días

Dosis y efectos: Marcada disminución en las tasas de embarazo; el estudio carece de mediciones de niveles de plomo en sangre y análisis estadístico de incidencia de embarazo; se observó toxicidad fetal (retardo en el desarrollo del esqueleto) y también en la madre.

Exposición crónica

NOAEL: 0.57 mg/Pb/kg/día

Compuesto: acetato de plomo

Fuente: Mele, P.C., P.J. Bushnell y R.E. Bowman. 1984. Prolonged behavioral effects of early postnatal lead exposure in rhesus monkeys: Fixed-interval responding and interactions with scopolamine and pentobarbital. *Neurobehav. Toxicol. Teratol.* 6:129-135.

Organismos utilizados: monos

Tiempo de exposición: 1 año

Dosis y efectos: Se expusieron monos, desde su nacimiento, a una dosis vía oral de 0.2 a 0.88 mg Pb/kg/día, con el fin de detectar alguna posible afectación en el aprendizaje para lo cual se utilizaron tareas de discriminación inversa, éstas requieren que el sujeto responda a uno o dos estímulos y obtenga una recompensa una vez que la tarea ha sido aprendida; de los 5 meses a 1 año fueron consistentemente más lentos en la realización de tareas inversas y de aprendizaje aún cuando la exposición terminó al año de edad.

ZINC (ATSDR, 1994)

Exposición aguda

NOAEL: 0.5 mg/Zn/kg/día

Compuesto: sulfato de zinc

Fuente: Brandao-Neto, J., C.A. de Mendon, T. Shuhama *et al.*, 1990a. Zinc acutely and temporarily inhibits adrenal cortisol secretion in humans: A preliminary report. *Biological Trace Element Research.* 24:83-89.

Organismos: humanos

Tiempo de exposición: única

Dosis y efectos: recibieron una dosis única, no presentaron cambios en los niveles de glucosa o insulina en sangre, pero si una disminución en los de cortisol en suero (hormona que secretan las suprarrenales). No se reportan efectos en las glándulas suprarrenales.

Exposición crónica

NOAEL: 2.0 mg/Zn/kg/día

Compuesto: no especificado

Fuente: Hale, W.E., F.E. May, R.G. Thomas *et al.*, 1988. Effect of zinc supplementation on the development of cardiovascular disease in the elderly. J. Nutr. Elder. 8(2):49-57.

Organismos: humanos >65 años de edad

Tiempo de exposición: 8 años

Dosis y efectos: Después de tratamientos de suplementos de zinc, no se observaron efectos negativos en el electrocardiograma, ni aumentó la frecuencia de enfermedades cardiovasculares (ataques al corazón, falla cardíaca, hipertensión o angina). No reportan diferencias en los niveles de triglicéridos y colesterol en sujetos ≥ 68 años de edad. Se observaron cambios en los parámetros hematológicos, dando como resultado anemia.

CÁLCULO DE LA TASA DE CONSUMO.

La tasa de consumo permite determinar la cantidad de ostión (kg) que un individuo puede consumir en un día sin sufrir efectos dañinos por la presencia de metales, para su cálculo se requiere una dosis de referencia o RfD que es un estimado de la cantidad de metal que un individuo puede consumir diariamente y con la que es improbable que se presenten efectos nocivos en su salud a lo largo de su vida.

El cálculo de la Tasa de Consumo (Cr de sus siglas en inglés Consumption rate) se hizo partiendo de la siguiente fórmula (Schuler *et al.*, 2000):

$$Cr = \frac{(RfD \times PC)}{Cm}$$

Donde:

Cr: Tasa de consumo (kg/día); RfD: Dosis de referencia (mg metal/kg peso corporal/día); PC: peso corporal (kg) y Cm: concentración del metal en ostión (mg/kg).

La dosis de referencia para el cadmio es de 0.001 mg de Cd/kg/día (IRIS, 1996), y para plomo no se ha desarrollado una RfD (IRIS, 1999). El peso corporal se tomó de las tablas de talla y peso (Ramos, 2001).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

LAGUNA DE ALVARADO, VERACRUZ.

METALES EN SEDIMENTO.

Metales totales.

Las concentraciones de metales totales determinadas en el sedimento de la laguna de Alvarado, se registran en las Tablas 8, 9 y 10:

Tabla 8. CONCENTRACIÓN DE METALES TOTALES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. NORTES (marzo, 1998)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	24.95	17.18	14.69	67.50	<L.D.	43.18
2	<L.D.	30.87	17.43	15.42	79.71	<L.D.	45.33
3	<L.D.	34.52	22.90	34.69	81.40	32.79	59.25
4	<L.D.	33.22	19.96	33.16	78.66	19.59	65.00
5	<L.D.	36.79	15.51	3.31	71.80	6.50	47.05
6	<L.D.	28.55	13.22	11.12	73.77	<L.D.	37.14
Promedio	<L.D.	31.48 \pm 4.3	17.70 \pm 3.4	18.73 \pm 12.5	75.47 \pm 5.4	19.63 \pm 13.1	49.49 \pm 10.5
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995
L.D.- Límite de Detección

Tabla 9. CONCENTRACIÓN DE METALES TOTALES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. LLUVIAS (agosto, 1998)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	29.92	11.77	10.45	72.32	17.47	25.01
2	<L.D.	28.25	11.99	9.00	60.84	15.23	23.18
3	<L.D.	34.48	18.45	9.00	75.41	23.99	42.42
4	<L.D.	36.07	20.69	18.96	79.65	26.16	48.39
5	<L.D.	35.81	14.83	2.60	66.78	17.43	48.82
6	<L.D.	31.88	24.23	21.83	69.55	24.00	85.25
Promedio	<L.D.	32.73 \pm 3.2	16.99 \pm 5.0	11.97 \pm 7.1	70.76 \pm 6.6	20.71 \pm 4.5	45.51 \pm 22.5
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995
L.D.- Límite de Detección

Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	25.97	12.45	2.60	64.85	48.15	47.16
2	<L.D.	31.51	18.77	10.44	73.97	28.42	69.31
3	<L.D.	42.35	19.02	9.02	71.46	41.56	76.46
4	<L.D.	46.98	23.00	17.51	83.30	41.41	103.02
5	<L.D.	47.64	21.19	13.24	60.24	54.49	74.37
6	<L.D.	35.73	12.32	10.40	61.28	15.20	64.19
Promedio	<L.D.	38.36±8.8	17.79±4.5	10.54±4.9	69.18±8.8	38.20±14.2	72.42±18.3
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995
L.D.- Límite de Detección

Los valores promedio en las concentraciones de metales totales por muestreo y el total para la laguna son (Tabla 11):

Muestreo	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Nortes	<L.D.	31.48±4.3	17.70±3.4	18.73±12.5	75.47±5.4	19.63±13.1	49.49±10.5
Lluvias	<L.D.	32.73±3.2	16.99±5.0	11.97±7.1	70.76±6.6	20.71±4.5	45.51±22.5
Secas	<L.D.	38.36±8.8	17.79±4.5	10.54±4.9	69.18±8.8	38.20±14.2	72.42±18.3
Promedio	<L.D.	34.19±6.4	17.49±4.1	13.75±9.0	71.80±7.2	27.49±13.7	55.81±20.7

De acuerdo a los anteriores promedios se tiene el siguiente orden de acuerdo a la concentración por metal (Tabla 12):

Nortes	Ni>Zn>Co>Pb>Cr>Cu>Cd
Lluvias	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Secas	Zn>Ni>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Promedio	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd

El níquel, zinc, cobalto y plomo fueron los que presentaron concentraciones más altas en las tres épocas de muestreo, los valores del níquel y zinc varían de 49.5 a 75.5 $\mu\text{g g}^{-1}$. El cadmio ocupó el último lugar en las tres épocas de muestreo con valores por debajo del límite de detección del equipo (0.236 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Las concentraciones máximas y mínimas de metales totales encontradas en la laguna de Alvarado, en cada temporada son (Tabla 13):

Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Co	36.79 (5)	24.95 (1)	36.07 (4)	28.25 (2)	47.64 (5)	25.97 (1)
Cu	22.90 (3)	17.18 (1)	24.23 (6)	11.77 (1)	23.00 (4)	12.32 (6)
Cr	34.69 (3)	3.31 (5)	21.83 (6)	2.60 (5)	17.51 (4)	2.60 (1)
Ni	81.40 (3)	67.50 (1)	79.65 (4)	60.84 (2)	83.30 (4)	60.24 (5)
Pb	32.79 (3)	<L.D. (1,2,6)	26.16 (4)	17.43 (5)	54.49 (5)	15.20 (6)
Zn	65.00 (4)	37.14 (6)	85.25 (6)	23.18 (2)	103.02 (4)	47.16 (1)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.
Entre paréntesis se señala número de estación.

Del análisis de la Tabla 13 se puede observar la tendencia de valores máximos de concentración de la estación 3 a la 6, lo cual coincide con los porcentajes más altos de carbono orgánico en las tres épocas de muestreo (Tabla 30), de manera que la presencia de metales podría estar asociada al acarreo de materia orgánica. La estación con mayor frecuencia de valores máximos fue la 4 (8 valores), registrados básicamente durante las épocas de lluvias y secas. Todos los valores de concentración de cadmio estuvieron por debajo del límite de detección de $0.236 \mu\text{g g}^{-1}$.

Los valores de concentración mínimos tuvieron una tendencia a distribuirse hacia las estaciones 1, 2, 5 y 6 (la 1 corresponde al sitio 1, y el resto al sitio 2), y se presentaron con más frecuencia en la 1 (8 valores mínimos registrados). Los valores de concentración del plomo fueron menores al límite de detección ($0.119 \mu\text{g g}^{-1}$).

En la Figura 3, la concentración promedio de metales totales en sedimento de la Laguna de Alvarado, se compara con el valor de concentración al cual se presentan efectos biológicos adversos (V.S.E.B.) que reporta Long *et al.* (1995). Las concentraciones de níquel estuvieron por encima de los $20.9 \mu\text{g g}^{-1}$, y las de cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc estuvieron por debajo de dichos valores (con excepción de las concentraciones de plomo encontradas en las estaciones 1 y 5 en la época de secas). Los autores no reportaron un V.S.E.B. para cobalto.

Por su parte los resultados de los ANOVA mostraron diferencias significativas entre las concentraciones de plomo y zinc total por época de muestreo, asimismo entre los niveles de cobalto y cobre total entre sitios (Tabla 27, 28 y 29). Las concentraciones promedio de plomo y zinc, en la época de secas, fueron elevadas, esto podría deberse a aportes marinos que entran por la Boca de Alvarado con la corriente de marea durante esta época (Raz-Guzmán *et al.*, 1992); lo anterior coincide con lo observado por Rosales-Hoz *et al.* (1986a) que reportan una concentración alta de zinc durante mayo (época de secas), atribuyéndolo a descargas discontinuas de la industria en el Río Blanco.

Con relación al cobalto y cobre, los valores de concentración más altos se distribuyeron básicamente en las estaciones 3, 4, 5 y 6 situadas en la Laguna de Alvarado, correspondientes a los sitios 2 (5 y 6) y 3 (3 y 4) en contacto con otros cuerpos de agua e interiores, respectivamente; este comportamiento podría deberse a un proceso in situ de adsorción del metal por partículas en suspensión (calcita, arcilla, materia orgánica y óxidos e hidróxidos de Fe y Mn), que posteriormente se depositan en el sedimento, con el consecuente aumento en la concentración de metales (Sadiq, 1992; Rosales-Hoz *et al.*, 1986a).

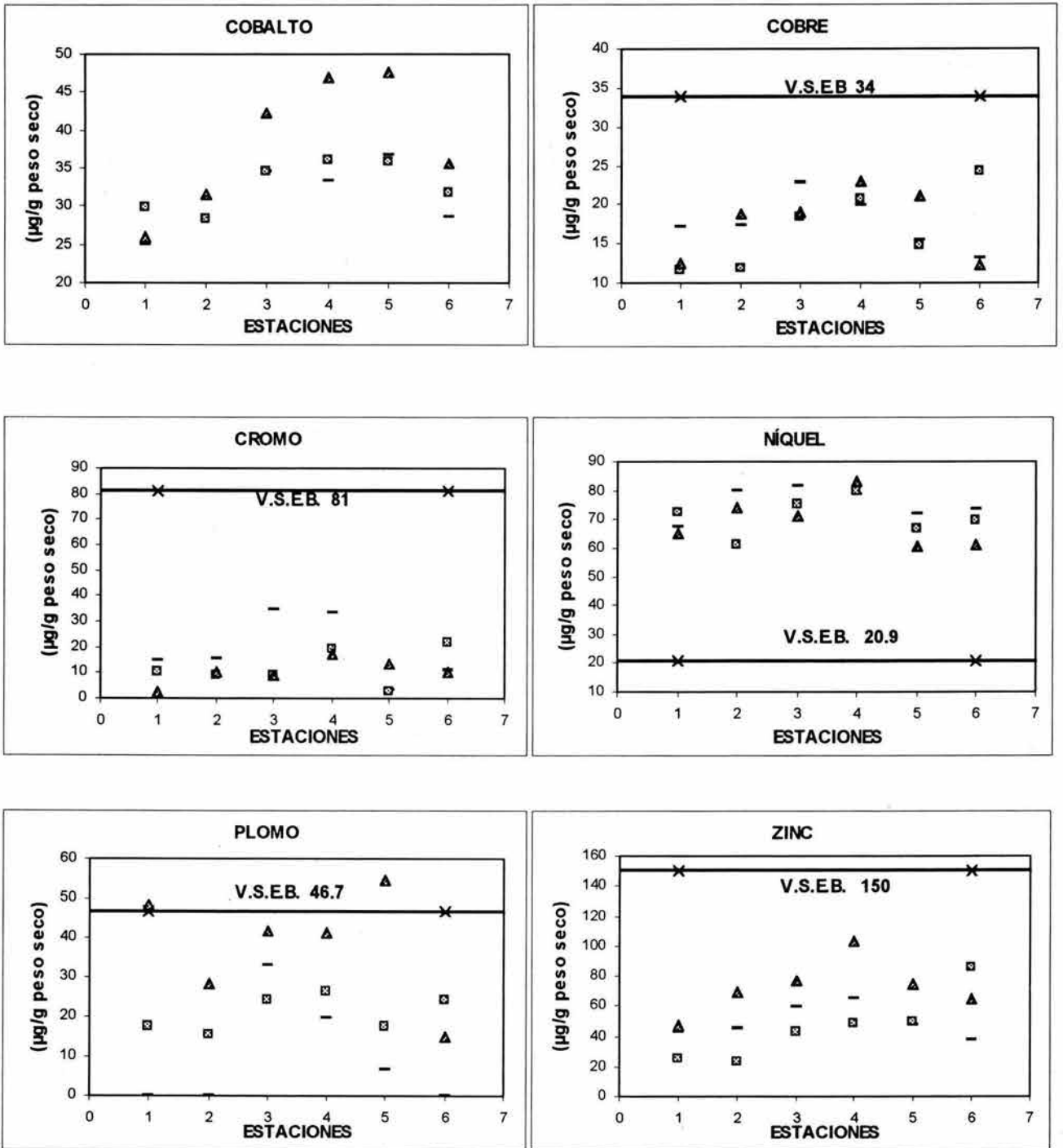


Fig. 3 Concentración promedio de metales totales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en sedimento de la Laguna de Alvarado, Ver., comparada con los valores que en sedimentos que producen efectos biológicos (V.S.E.B.)

— Nortes, ■ Lluvias, ▲ Secas

Metales biodisponibles.

En las Tablas 14, 15 y 16 se presentan las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de metales biodisponibles determinadas en sedimento de la laguna de Alvarado, en las tres épocas de muestreo:

Tabla 14. CONCENTRACIÓN DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. NORTES (marzo, 1998)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D	1.09	0.47	2.7	1.32	<LD	7.46
2	<L.D	2.96	1.09	1.1	3.10	<LD	8.86
3	<L.D	2.67	0.50	1.9	3.07	5.49	8.67
4	<L.D	4.57	1.12	0.7	3.21	4.46	12.74
5	<L.D	4.31	<L.D.	0.2	2.28	2.98	16.92
6	<L.D	5.27	0.72	<L.D	2.85	<LD	15.93
Promedio	<L.D	3.48±1.5	0.78±0.3	1.36±1.	2.64±0.7	4.31±1.3	11.76±4.0
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Límite de Detección

Tabla 15. CONCENTRACIÓN DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. LLUVIAS (agosto, 1998)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D	3.66	0.08	1.01	1.24	2.68	6.23
2	<L.D	4.72	0.82	0.86	1.74	3.13	8.08
3	<L.D	6.47	1.14	0.86	2.82	5.20	10.40
4	<L.D	7.32	<L.D.	0.79	3.17	4.01	11.57
5	<L.D	2.23	0.70	0.26	1.42	4.31	7.63
6	<L.D	4.61	2.82	0.04	2.42	4.16	15.23
Promedio	<L.D	4.83±1.8	1.11±1.0	0.64±0.4	2.14±0.8	3.91±0.9	9.86±3.3
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Límite de Detección

Tabla 16. CONCENTRACIÓN DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. SECAS (junio, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	2.37	0.13	0.56	1.38	4.16	6.56
2	<L.D.	5.08	1.48	0.19	3.25	4.46	9.61
3	<L.D.	5.52	1.26	0.87	2.78	7.71	1.13
4	<L.D.	6.62	1.41	0.94	3.28	6.38	11.55
5	<L.D.	5.52	1.16	0.41	2.35	9.19	9.96
6	<L.D.	7.98	0.82	<L.D.	3.00	6.67	13.39
Promedio	<L.D.	5.52±1.9	1.04±0.5	0.59±0.3	2.67±0.7	6.43±1.9	8.70±4.3
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Límite de Detección

Se calcularon las concentraciones promedio de metales biodisponibles por época de muestreo para la laguna de Alvarado arrojando los siguientes datos (Tabla 17):

<i>Muestreo</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
Nortes	<L.D.	3.48±1.5	0.78±0.3	1.36±1.0	2.64±0.7	4.31±1.3	11.76±4.0
Lluvias	<L.D.	4.38±1.8	1.11±1.0	0.64±0.4	2.14±0.8	3.91±0.9	9.86±3.3
Secas	<L.D.	5.52±1.9	1.04±0.5	0.59±0.3	2.67±0.7	6.43±1.9	8.70±4.3
<i>Promedio</i>	<L.D.	<i>4.61±1.9</i>	<i>0.98±0.6</i>	<i>0.85±0.7</i>	<i>2.48±0.7</i>	<i>5.00±1.8</i>	<i>10.11±3.9</i>

En función de las concentraciones promedio, se tiene la siguiente secuencia (Tabla 18):

Nortes	Zn>Pb>Co>Ni>Cr>Cu>Cd
Lluvias	Zn>Co>Pb>Ni>Cu>Cr>Cd
Secas	Zn>Pb>Co>Ni>Cu>Cr>Cd
<i>Promedio</i>	<i>Zn>Pb>Co>Ni>Cu>Cr>Cd</i>

En las tres épocas de muestreo, y en el promedio global, el zinc ocupa el primer lugar; su concentración varía entre 8.7 y 11.8 $\mu\text{g g}^{-1}$ lo cual no están muy por encima de las concentraciones promedio de los otros metales, como sucede con la encontrada en organismos y metales totales; lo que indicaría que sólo una pequeña fracción se está transformando a formas químicas que el ostión puede concentrar y que éste bioacumula mediante la filtración.

Las concentraciones máximas y mínimas de metales biodisponibles encontradas en la laguna de Alvarado, en cada temporada, se presentan en la Tabla 19:

Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Co	5.27(6)	1.09(1)	7.32(4)	2.23(5)	7.98(6)	2.37(1)
Cu	1.09(2)	<L.D.(5)	2.82(6)	<L.D.(4)	1.48(2)	0.13(1)
Cr	2.74(1)	<L.D.(6)	1.01(1)	0.04(6)	0.94(4)	<L.D.(6)
Ni	3.21(4)	1.32(1)	3.17(4)	1.24(1)	3.28(4)	1.38(1)
Pb	5.49(3)	<L.D.(1,2,6)	5.20(3)	2.68(1)	9.19(5)	4.16(1)
Zn	16.92(5)	7.46(1)	15.23(6)	6.23(1)	13.39(6)	1.13(3)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.

Entre paréntesis se señala número de estación

* todas las estaciones.

Los valores máximos de concentración de metales biodisponibles relacionados con el sitio presentan una ligera tendencia a distribuirse a lo largo del año en las estaciones 4 (Arbolillo) y la 6 (Isleta); esto podría deberse a los porcentajes altos de carbono orgánico registrado en dichas estaciones, lo que podría implicar el acarreo de metales asociados a materia orgánica. Los valores mínimos de concentración presentan una tendencia a presentarse con mayor frecuencia en la estación 1.

En los ANOVA resultan significativas las diferencias en concentración por sitio para cobalto, cobre, cromo y níquel, y por época para plomo, lo que significa que para la fracción biodisponible de estos metales el sitio y/o época de muestreo influyeron sobre la concentración encontrada (Tabla 27, 28 y 29).

El plomo biodisponible fue mayor en la época de secas, lo que podría deberse al efecto de la evaporación que permite su concentración. En relación con las variaciones por sitio, para cobalto, cobre, cromo y níquel, se pueden explicar como consecuencia de un conjunto dinámico de interacciones fisicoquímicas que permiten un proceso de especiación (Connel y Miller, 1984), el transporte, mezcla y fijación diferencial de metales pueden dar como resultado variaciones sustanciales en la composición de metales en diferentes partes de la laguna afectando la biodisponibilidad del metal (Kennish, 1992).

METALES EN ORGANISMOS.

Se tomaron datos morfológicos de talla y peso del ostión (*Crassostrea virginica*), con excepción de los organismos muestreados en la época de nortes. En la Tabla 20, se presenta la talla y peso, mínimo y máximo por estación de muestreo y su valor promedio. Como se puede observar, la talla y peso máximos y mínimos, así como la talla y peso promedio más altos para el ostión se presentan en la época de secas.

L. Alvarado		Talla (mm)			Peso húmedo (g)		
Est.	muestreo	mínima	máxima	promedio	mínima	máxima	promedio
2	Lluvias	47.0	82.0	59.1±9.3	1.3	11.3	4.7±2.6
1	Secas	45.0	115.0	66.1±20.9	2.1	11.9	7.4±5.2
2	Secas	30.0	60.0	42.2±8.9	0.7	8.4	2.2±1.9
3	Secas	30.0	100.0	51.0±18.0	0.7	10.6	3.4±2.9
4	Secas	40.0	75.0	54.4±9.5	1.7	9.3	3.8±2.0

En las Tablas 21, 22 y 23 se presentan las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de metales determinadas en ostiones de la laguna de Alvarado, en las tres épocas de muestreo:

Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	0.50	1.41	112.61	4.62	3.22	3.99	147.42
2	0.90	4.14	258.30	13.62	2.72	7.12	286.77
3	11.49	3.66	590.55	7.92	2.11	8.29	153.68
4	7.44	4.26	284.89	8.57	2.01	5.71	147.11
Promedio	5.08±5.3	3.37±1.3	311.59±200.8	8.68±3.7	2.52±0.6	6.28±1.9	183.75±68.8
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.C.- Level of Concern ($\mu\text{g g}^{-1}$). Niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles promedio. F.A.O. (Nauen, 1983)

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible

L.D.- Límite de detección.

Tabla 22. CONCENTRACIÓN DE METALES EN OSTIÓN ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. LLUVIAS (agosto, 1998)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
2	2.24	5.65	213.5	9.83	2.52	8.28	140.90
6	0.76	3.74	3.9	5.65	0.86	3.95	78.09
Promedio	1.50 \pm 1.0	4.70 \pm 1.3	108.76 \pm 148.	7.74 \pm 3.0	1.69 \pm 1.2	6.12 \pm 3.1	109.50 \pm 44.4
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.C.- Level of Concern ($\mu\text{g g}^{-1}$). Niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles promedio. F.A.O. (Nauen, 1983)

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible

L.D.- Límite de detección.

Tabla 23. CONCENTRACIÓN DE METALES EN OSTIÓN ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. SECAS (junio, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	0.96	8.36	5.84	10.93	5.24	7.42	160.41
2	2.16	8.83	9.17	14.10	4.89	6.57	148.04
3	6.71	31.24	653.09	15.19	14.67	27.41	42.21
4	12.93	11.48	648.03	15.52	3.93	11.72	153.61
Promedio	5.69 \pm 5.4	14.98 \pm 10.9	329.03 \pm 371.3	13.94 \pm 2.1	7.18 \pm 5.0	13.28 \pm 9.7	126.07 \pm 56.
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.C.- Level of Concern ($\mu\text{g g}^{-1}$). Niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles promedio. F.A.O. (Nauen, 1983)

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible

L.D.- Límite de detección.

Las concentraciones promedio por muestreo de ostión y la concentración total promedio para la laguna es como sigue (Tabla 24):

Tabla 24. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ($\mu\text{g g}^{-1}$) POR METAL EN OSTIÓN DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER.							
Muestreo	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Nortes	5.08 \pm 5.3	3.37 \pm 1.33	311.59 \pm 200.8	8.68 \pm 3.7	2.52 \pm 0.6	6.28 \pm 1.9	183.75 \pm 68.8
Lluvias	1.50 \pm 1.0	4.70 \pm 1.3	108.76 \pm 148.2	7.74 \pm 3.0	1.69 \pm 1.2	6.12 \pm 3.1	109.50 \pm 44.4
Secas	5.69 \pm 5.4	14.98 \pm 10.9	329.03 \pm 371.3	13.94 \pm 2.1	7.18 \pm 5.0	13.28 \pm 9.7	126.07 \pm 56.1
Promedio	4.61\pm4.7	8.28\pm8.6	278.00\pm264.3	10.60\pm3.9	4.22\pm3.9	9.05\pm6.8	145.82\pm62.9

En función de las concentraciones promedio, los metales presentan la siguiente secuencia:

Nortes	Cu>Zn>Cr>Pb>Cd>Co>Ni
Lluvias	Zn>Cu>Cr>Pb>Co>Ni>Cd
Secas	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Promedio	Cu>Zn>Cr>Pb>Co>Cd>Ni

La Tabla 25, presenta la secuencia de metales de mayor a menor concentración para el promedio total y época de muestreo, los primeros dos metales con mayor concentración encontrados en las tres épocas de muestreo fueron el cobre y el zinc, cuyas concentraciones variaron de 109.5 a 329 $\mu\text{g g}^{-1}$, en contraste con el resto de metales que variaron de 1.5 a 15 $\mu\text{g g}^{-1}$.

En la Tabla 26, se presentan las concentraciones máximas y mínimas de metales encontradas en *Crassostrea virginica* procedente de la laguna de Alvarado, por época de muestreo:

Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	11.49 (3)	0.5 (1)	2.24(2)	0.76(6)	12.93(4)	0.96(1)
Co	4.26 (4)	1.41 (1)	5.65(2)	3.74(6)	31.24(3)	8.36(1)
Cu	590.55 (3)	112.61 (1)	213.54(2)	3.98(6)	653.09(3)	5.84(1)
Cr	13.62(2)	4.62 (1)	9.83(2)	5.65(6)	15.52(4)	10.93(1)
Ni	3.22(1)	2.01(4)	2.52(2)	0.86(6)	14.67(3)	3.93(4)
Pb	8.29(3)	3.99(1)	8.28(2)	3.95(6)	27.41(3)	6.57(2)
Zn	286.77(2)	147.11(4)	140.90(2)	78.09(6)	160.41(1)	42.21(3)

Máx. y Mín. - valor máximo y mínimo.
Entre paréntesis se señala número de estación.

Los valores de concentración más altos, en las diferentes épocas de muestreo, se distribuyen en general en la zona de menor influencia marina (estaciones 2 a 4). Frente a la ciudad de Alvarado (estación 6) se esperarían valores altos de metales como resultado de las actividades antrópicas en la zona, pero la influencia de una corriente marina que penetra por la Boca de Alvarado, en la época de secas podría provocar una disminución en la concentración de metales (Raz-Guzmán *et al.*, 1992).

Los valores de concentración más bajos para todos los metales, con excepción del zinc, se presentaron durante las temporadas de nortes y secas. Las estaciones con mayor frecuencia de valores mínimos, a lo largo del año, fueron la estación 1 (sitio 1) y la 6 (sitio 2).

En los ANOVA, el cadmio en ostión resultó significativo en relación con el sitio, con un valor máximo para el sitio 3 (estaciones interiores 3 y 4), que podría deberse a un proceso de acarreo por la corriente que proviene del Río Blanco hacia ésta área (S.R.H., 1973) o bien por la corriente marina que entra a la Laguna de Camaronera a través del canal artificial y se dirige hacia la de Buen País y la región noroccidental de la Laguna de Alvarado (Reguero y García-Cubas, 1989). La concentración de cromo en ostión resultó significativa por época de muestreo, con un valor máximo durante la época de secas.

Si se analizan las Tablas 21, 22, 23 y la Figura 4, referentes a las concentraciones promedio por metal en ostión de la laguna de Alvarado, se tiene que para el cadmio el 40% de los valores registrados durante la época de nortes y secas están por encima del límite $3.7 \mu\text{g g}^{-1}$, que establece la FDA (1993) para moluscos bivalvos; para cobre el 70% de los valores se registraron por encima de límite máximo permisible promedio de $32.5 \mu\text{g g}^{-1}$ de la FAO (Nauen, 1983), este metal es muy tóxico para algunos invertebrados, especialmente para los organismos juveniles (Rodríguez, 1994).

El cromo presentó el 40% de sus valores de concentración por encima de los $13 \mu\text{g g}^{-1}$ que estipula la FDA, en nortes en la estación 2, y en secas en las estaciones 2, 3 y 4. En el caso del níquel todos los valores estuvieron por debajo de los $80 \mu\text{g g}^{-1}$, a diferencia del plomo cuyos valores para ostión están por encima de $1.7 \mu\text{g g}^{-1}$ (FDA, 1993), este metal es muy tóxico y puede afectar la capacidad reproductiva de los organismos (Rodríguez, 1994). Para zinc, los valores de las tres épocas de muestreo estuvieron por debajo del límite máximo permisible promedio de la FAO (Nauen, 1983). Cabe señalar que todas las concentraciones de cadmio y plomo estuvieron por encima del límite que estipula México en la NOM-031-SSA1-1993 de 0.5 y 1.0 mg/kg respectivamente (D.O.F., 1995).

Si se analizan los resultados de las 10 muestras de ostión tomadas en las diferentes épocas de muestreo, los metales que con mayor frecuencia sobrepasaron los límites permitidos para moluscos bivalvos son, plomo (100%), cobre (70%), cadmio y cromo (40%), por efecto de la bioacumulación que implica un riesgo de intoxicación crónica (Villanueva y Botello, 1992). Níquel y zinc no presentaron ningún valor por encima de dichos límites.

La presencia de cobre y zinc con valores altos de concentración está en función de que ambos metales se encuentran comúnmente en la naturaleza, y por ser elementos esenciales se le encuentra también en animales y plantas; el zinc es el más común de los elementos en la corteza terrestre y está presente en todos los alimentos (ATSDR, 1990; ATSDR, 1994).

A diferencia del plomo y el cadmio, que no son elementos esenciales y son los más tóxicos de los siete metales analizados, el cadmio está presente en la corteza terrestre generalmente en forma mineral, su presencia en ambientes acuáticos se debe a lavado de suelos agrícolas y descargas de minería e industria, así como desechos municipales y lodos de plantas de tratamiento (Villanueva y Botello, 1992); el plomo se encuentra en la corteza terrestre en pequeñas cantidades, por lo que la mayoría de los niveles altos encontrados en el ambiente son producto de la actividad humana (ATSDR, 1999a y 1999b) originada probablemente en áreas industriales de Córdoba y Orizaba y que son transportadas a las zonas costeras por el Río Blanco (Villanueva y Botello, 1998); su concentración aumenta donde hay descargas de lodos de plantas de tratamiento, dragado de puertos y canales de navegación o por

derrame de desechos industriales a cuerpos de agua receptores (Villanueva y Botello, 1992).

Las concentraciones encontradas en ostión, para cobre y plomo, contrastan con las concentraciones totales en sedimento, el cobre y plomo total están por debajo del V.S.E.B. (con excepción de dos valores en la época de secas), y el níquel total cuyos valores están por encima de dicho valor de referencia (Fig. 3).

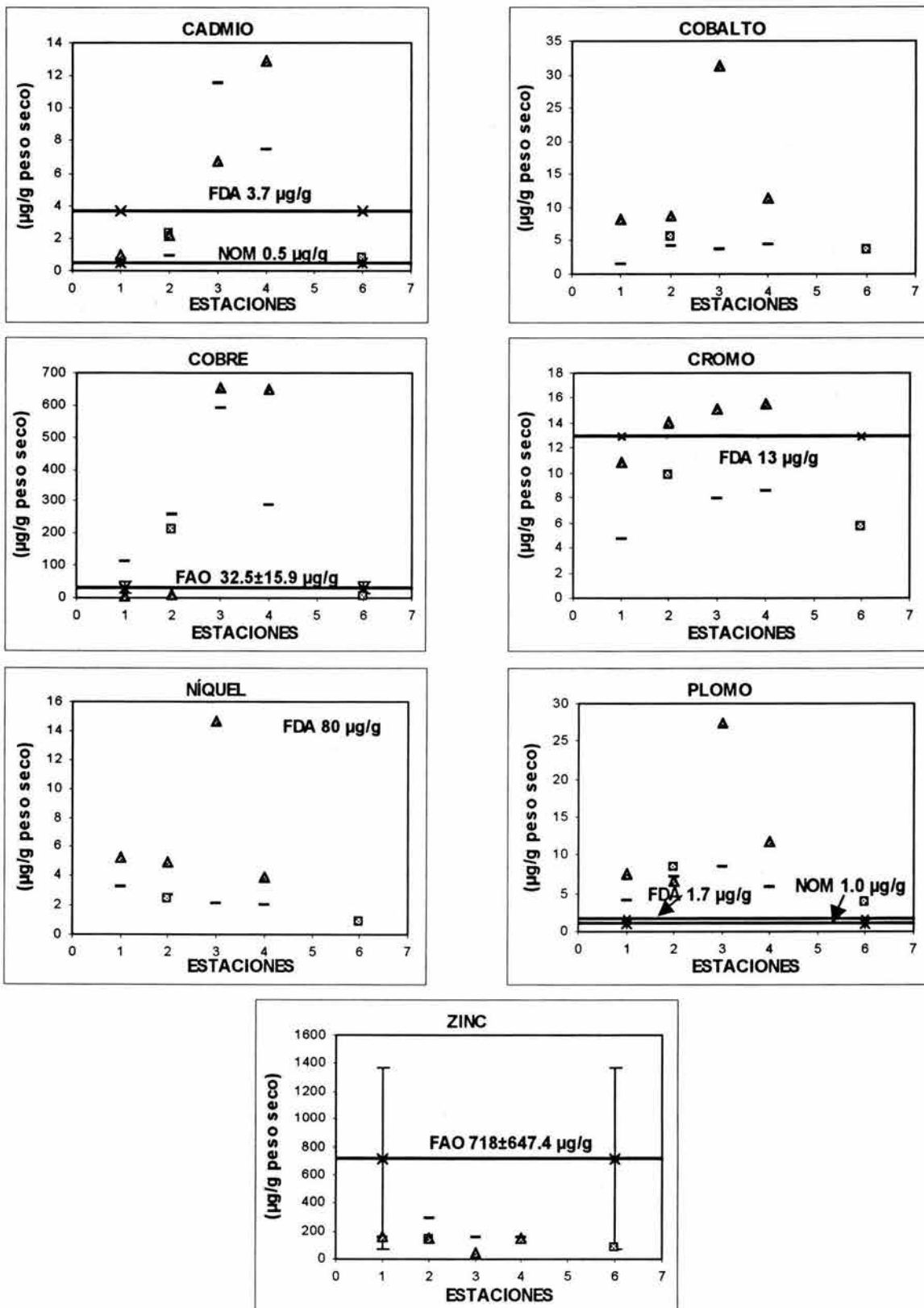


Fig. 4 Concentración promedio de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en ostión de la Laguna de Alvarado, Ver., comparado con la NOM y los límites de la FDA y FAO

— Nortes, ■ Lluvias, ▲ Secas

Del análisis de las correlaciones de tallas y pesos promedio de ostión contra la concentración de metales, se observa que ninguna de las correlaciones es significativa, los valores más altos de R^2 corresponden al cromo 0.4222 (talla) y 0.4279 (peso) (Fig. 5), el valor de $R = -0.65$ que establece una relación inversamente proporcional entre la talla y peso en relación con la concentración de cromo en ostión. De acuerdo con dicho análisis la talla y peso no tienen relación con las concentraciones encontradas (que se confirma con el valor de $\alpha=0.27$ para talla y peso), lo que resulta contradictorio con el planteamiento de Connell y Miller (1984), en el sentido que la edad (talla y peso) afecta la acumulación de metales, o el trabajo de Martinčić *et al.* (1986) sobre bioacumulación de cobre en ostión, en el sentido que la talla es posiblemente el parámetro que regula con más precisión la concentración del metal.

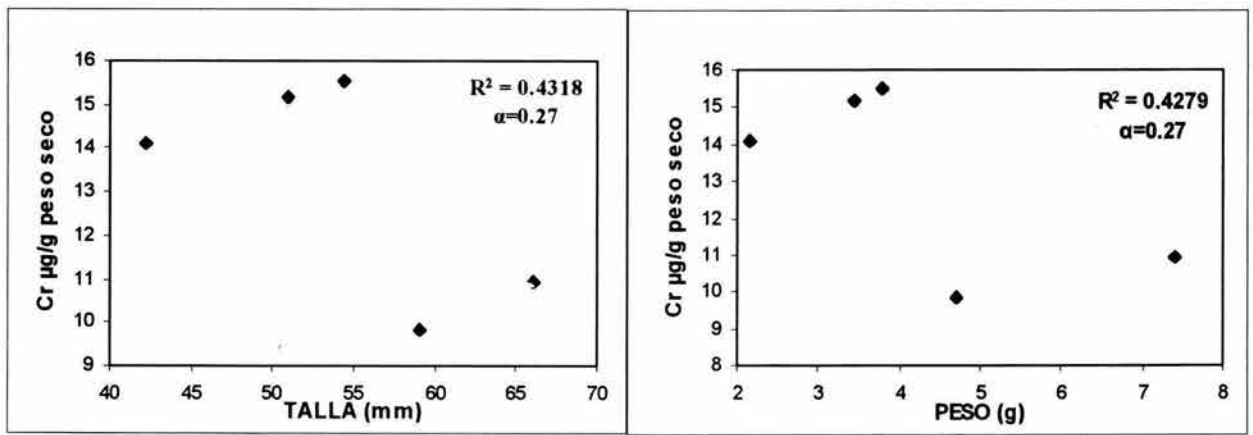


Fig. 5 Concentración promedio de cromo ($\mu\text{g g}^{-1}$) vs. Talla y peso promedio de ostión de la Laguna de Alvarado, Ver.

En la Figura 6, se comparan los valores de concentración de metales en ostión y sedimento (biodisponibles y totales) por estación de muestreo. Los valores de concentración de cadmio total y biodisponible se reportaron por debajo del límite de detección del equipo ($0.236 \mu\text{g g}^{-1}$), lo que no ocurrió con los valores de concentración en ostión. El cobalto total presentó valores más altos en sedimento, en comparación con los de organismos, cabe señalar que de las estaciones 1 a la 4 (1. frente al canal hasta 4. Arbolillo) las concentraciones de cobalto en ostión fueron mayores a la de metales biodisponibles. Para el cobre los valores más altos en ostión se registraron en las estaciones 1 a 4, las concentraciones de metales totales y biodisponibles en sedimento fueron bajas en comparación con las de ostión.

En el caso del cromo se observa que en su mayoría, los valores de metales totales en sedimento fueron los más altos, excepto en la estación 2 (Cabezo Largo) en la que la concentración del metal en ostión fue más alta que el cromo total en sedimento, los valores de cromo biodisponible fueron muy pequeños en comparación con los de ostión y cromo total, lo que indicaría que hay una bioacumulación del metal en ostión, al igual que pasa con cobre. Para el níquel los valores de concentración de níquel total estuvo muy por

encima del biodisponible y de ostión; de las estaciones 1 a la 3 (Tres Palmas) los valores de concentración en ostión fueron ligeramente mayores que los biodisponibles.

Las concentraciones de plomo total en sedimento, fueron más altas que la fracción biodisponible y de ostión. Al igual que lo reportado para cobalto y cobre, las concentraciones de plomo biodisponible fueron menores que las de ostión. Con excepción del cobre y zinc, y en alguna medida cromo; el cobalto, níquel y plomo totales presentaron valores de concentración más altos comparados con la fracción biodisponible y organismos. Se puede apreciar que el ostión en general presentó mayor concentración que la fracción biodisponible, que presupone un proceso de bioacumulación en el ostión.

Finalmente, para el zinc se presentaron las concentraciones más altas para organismos, registrándose valores de concentración mayores que los de zinc biodisponible; los valores de concentración más altos se presentaron igualmente en las estaciones 1 a 4. Como se puede ver la concentración de metales totales es mayor en cuatro de los siete metales (cobalto, cromo, níquel y plomo), para el resto (cadmio, cobre y zinc) es mayor en organismos, que en metales totales y biodisponibles.

El hecho de que las concentraciones de metales sean más altas en ostión, puede deberse a la capacidad que tienen los organismos para almacenar grandes concentraciones del metal en sus tejidos, proceso que se conoce como bioacumulación. En el mar y áreas costeras los organismos bentónicos son los más afectados por la presencia de metales en el medio, en función de su estrecha interacción con el sedimento (Villanueva y Botello, 1998); en un medio acuático contaminado se tienen que considerar las preferencias o hábitos alimenticios porque los metales se concentran de manera significativa en el sedimento, materia particulada y detritus, que el ostión absorbe por filtración para alimentarse (Connell y Miller, 1984).

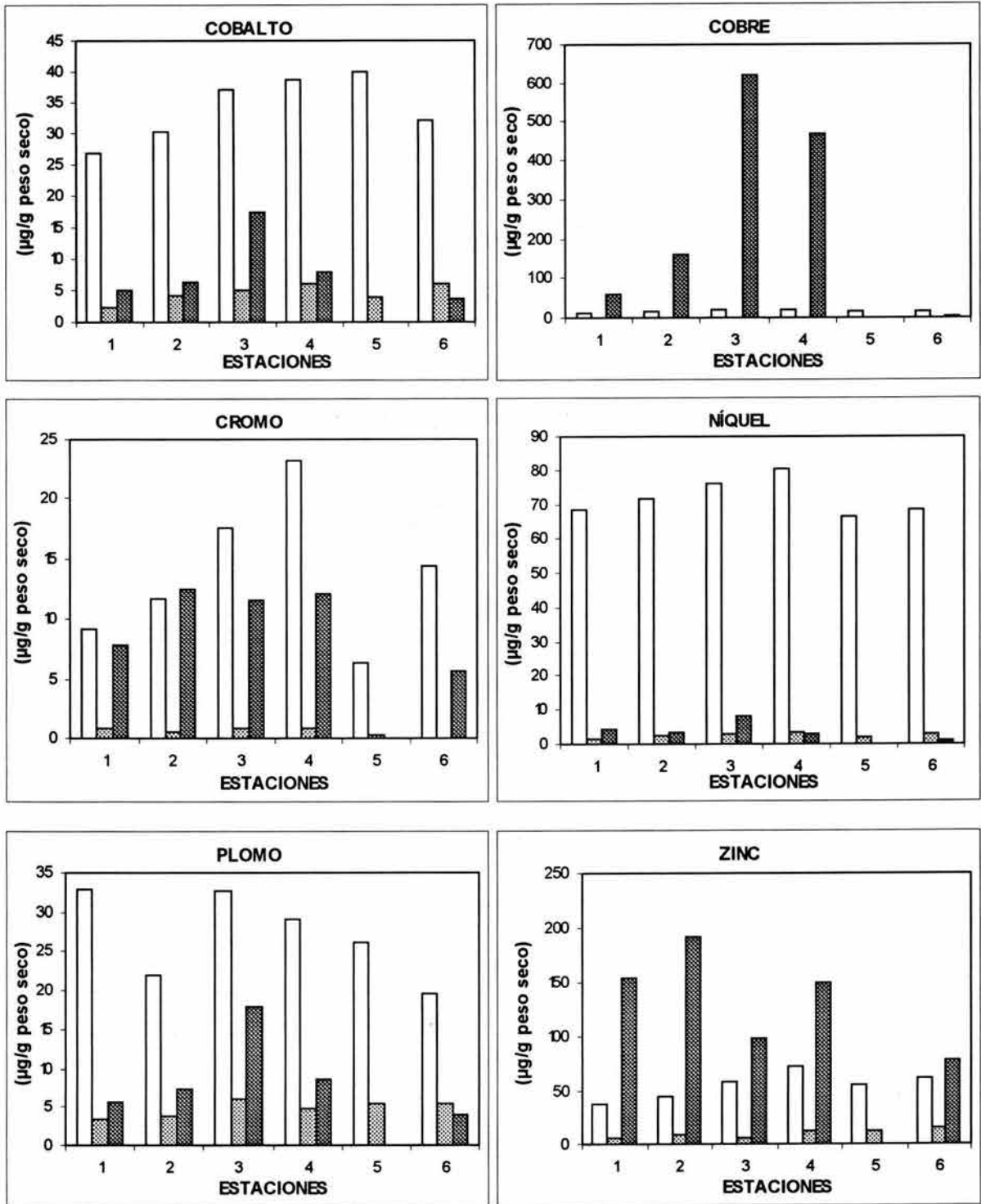


Fig. 6 Concentración promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metales totales y biodisponibles en sedimento y ostiones de la Laguna de Alvarado, Ver.

□ Metales totales ▨ Metales biodisponibles ■ Metales en ostión

En la Tabla 27, se sintetizan los resultados de los análisis estadísticos obtenidos para metales en organismos y en sedimento.

Tabla 27. RESUMEN DE ANOVA CUADRO LATINO PARA LA LAGUNA DE ALVARADO, VER.			
METAL	N	p	
		ÉPOCA	SITIO
cobalto biodisponible	18	0.073	*0.024
cobre biodisponible	16	0.925ns	*0.002
cromo biodisponible	16	0.075ns	*0.048
níquel biodisponible	18	0.062ns	*0.000
plomo biodisponible	15	*0.011	0.099ns
zinc biodisponible	18	0.366ns	0.187ns
cadmio total	x	x	x
cobalto total	18	0.055ns	*0.019
cobre total	18	0.918ns	*0.043
cromo total	18	0.494ns	0.154ns
níquel total ¹	Análisis no paramétrico		
plomo total	15	*0.025	0.263ns
zinc total	18	*0.024	0.084ns
cadmio ostión	10	0.569ns	*0.003
cobalto ostión	10	0.171ns	0.450ns
cobre ostión	10	0.832ns	0.066ns
cromo ostión	10	*0.036	0.113ns
níquel ostión	10	0.107ns	0.979ns
plomo ostión	10	0.370ns	0.367ns
zinc ostión ¹	Análisis no paramétrico		

N número de muestra, *p<0.05 Significativo

ns= no significativo. x= <L.D.

1. Kruskal-Wallis.

En los resultados de los ANOVA (Tablas 27, 28, 29) se registran con más frecuencia diferencias significativas entre las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) encontradas por sitio, lo que indica que el sitio tiene una mayor influencia sobre la concentración de los metales; con excepción del plomo total y biodisponible, zinc total y cromo en ostión, cuya concentración está más determinada por la época de muestreo.

En la Tabla 28, se presentan los resultados de ANOVA por época de muestreo:

Tabla 28. Resumen de ANOVA por época de muestreo para la Laguna de Alvarado, Ver.				
METAL	N	LI	S	p<0.05
Pb biodisponible	4.31±1.3	3.91±0.9	6.43±1.9	0.011
Pb total	19.63±13.1	20.71±4.5	38.20±14.2	0.025
Zn total	49.49±10.5	45.51±22.5	72.42±18.3	0.024
Cr ostión	8.68±3.7	7.74±3.0	13.94±2.1	0.036

En todos los casos se aprecia que las concentraciones promedio más altas se registraron en la época de secas, y los valores más bajos en la de lluvias, con excepción del plomo total cuyo valor más bajo se registró en la de nortes, aunque cabe señalar que la concentración promedio es muy similar a la que se registra en la época de lluvias. Lo anterior se podría explicar por el aporte de agua dulce al sistema en dicha época, las concentraciones se diluyen, al contrario de lo que se esperaría en la de secas.

Analizando los promedios de concentración de zinc total, cuyos resultados fueron significativos por época de muestreo, la época de secas fue superior en 23 y 27 $\mu\text{g g}^{-1}$ en relación con las épocas de nortes y lluvias respectivamente.

En la Tabla 29, se presentan los resultados de ANOVA por sitio:

METAL	1	2	3	p<0.05
Co biodisponible	2.37±1.28	4.74±1.63	5.53±1.70	0.024
Cu biodisponible	0.23±0.21	1.20±0.70	1.08±0.35	0.002
Cr biodisponible	1.44±1.15	0.46±0.41	1.01±0.45	0.048
Ni biodisponible	1.31±0.07	2.49±0.62	3.06±0.21	0
Co total	26.94±2.62	34.11±5.95	37.94±5.49	0.019
Cu total	13.80±2.95	16.61±4.18	20.67±1.93	0.043
Cd ostión	0.73±0.32	1.52±0.79	9.64±3.04	0.003

En la Tabla 29 se puede ver que los valores más bajos de concentración de los diferentes metales se presentaron en el sitio 1 (con influencia marina), con excepción del cromo biodisponible en el sitio 2. Los máximos se presentaron en el sitio 3 (estaciones interiores), con excepción del cobre y cromo biodisponible. Todos los casos analizados cumplen con la regla de decisión de tener una $p<0.05$.

En el sitio 3 (estaciones interiores), coincidentemente, se presentó el porcentaje promedio más alto de carbono orgánico (sitio 1=0.92±0.60; sitio 2=0.97±0.52; sitio 3=1.21±0.34, Tabla 30), por lo que esta área de la laguna podría estar recibiendo el acarreo de materia con metales procedente del Río Blanco.

MATERIA ORGÁNICA.

Los resultados de % de carbono orgánico en sedimento se presentan en la siguiente Tabla 30:

Tabla 30. % Carbono orgánico en sedimento de la Laguna de Alvarado, Ver.			
Est.	Nortes	Lluvias	Secas
1	0.84	0.36	1.56
2	0.90	0.33	1.49
3	1.20	0.93	1.83
4	1.05	0.93	1.36
5	1.11	0.99	1.86
6	0.24	1.17	0.68
Prom.	0.89±0.3	0.78±0.4	1.46±0.4

Como se puede ver los valores más altos se reportan en la época de secas, los porcentajes de las épocas de nortes y lluvias fueron semejantes. En general, con excepción de la estación 6, todos los valores de la época de lluvias fueron los más bajos.

Del análisis de la concentración de metales biodisponibles y totales en sedimento y su relación con los porcentajes de carbono orgánico por estación se esperaría una correlación significativa, ya que el material orgánico funciona como un depósito de metales pesados (Villanueva, 1987); del análisis de las gráficas de porcentaje de carbono orgánico contra la concentración de metales biodisponibles para las tres épocas de muestreo, se aprecia una relación significativa para el plomo ($R^2 = 0.4386$; $\alpha = 0.002$, y una $R = 0.66$ que implica una relación directa entre el % de carbono orgánico y la concentración de plomo biodisponible) (Fig. 7).

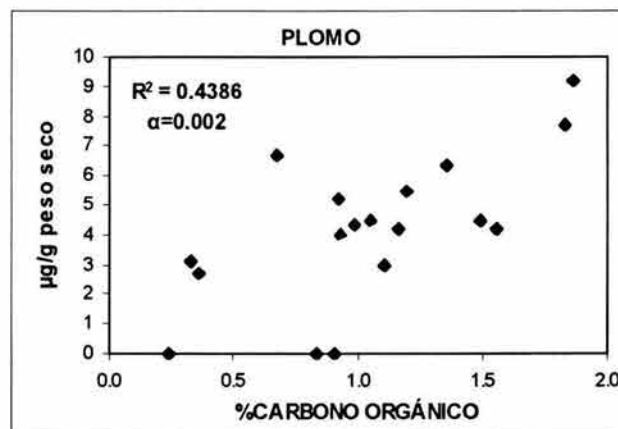


Fig. 7 % de Carbono orgánico y plomo biodisponible en sedimento de la Laguna de Alvarado, Ver.

Existe una relación entre el porcentaje de carbono orgánico y la concentración de cobre ($R^2 = 0.4159$; $\alpha = 0.003$, $R = 0.56$), plomo ($R^2 = 0.6006$; $\alpha = 6.35E-05$, $R = 0.77$) y zinc totales ($R^2 = 0.5902$; $\alpha = 8.32E-05$, $R = 0.69$) con un $\alpha < 0.05$ (Fig. 8). En todos los casos la relación entre la concentración del metal y el % de carbono orgánico es directamente proporcional.

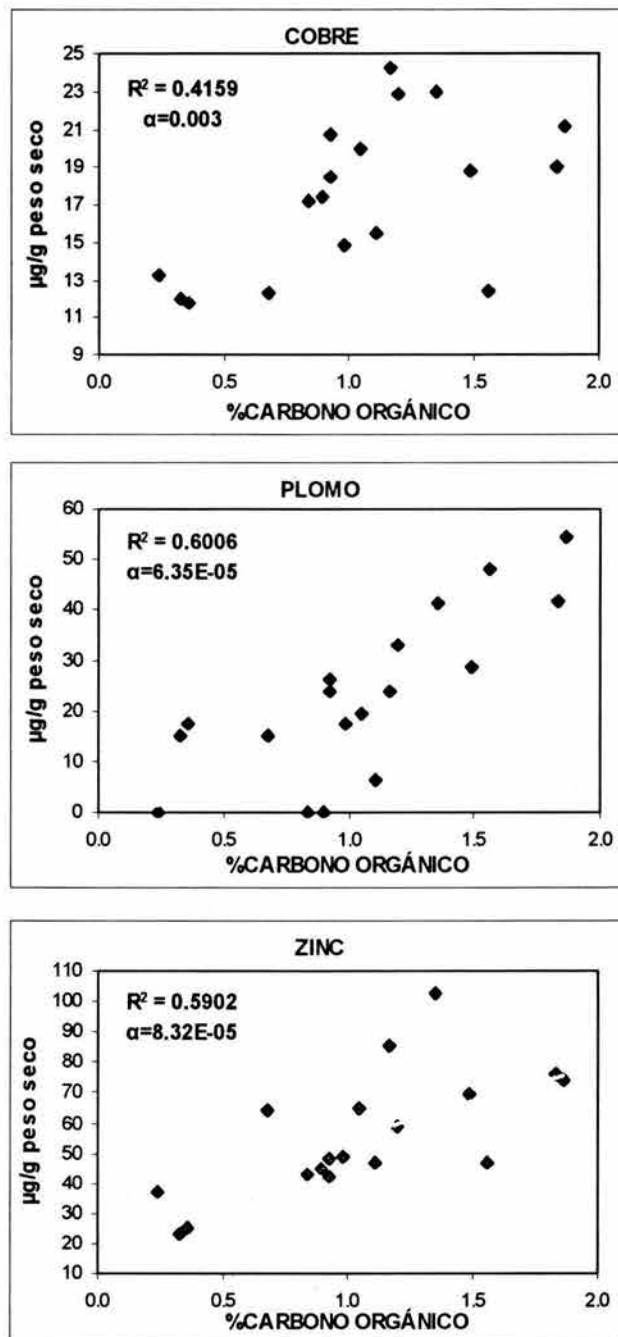


Fig. 8 % Carbono orgánico y metales totales en sedimento de la Laguna de Alvarado, Ver.

LAGUNA DE MANDINGA, VERACRUZ.

METALES EN SEDIMENTO.

Metales totales.

En las Tablas 31, 32 y 33 se presentan las concentraciones de metales totales en sedimento de la laguna de Mandinga, en las tres épocas de muestreo:

Tabla 31. CONCENTRACIÓN DE METALES TOTALES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. NORTES (noviembre, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	34.88	20.53	8.29	69.83	30.54	75.8
2	0.53	12.90	40.05	17.53	72.96	30.53	83.6
4	0.71	26.31	12.57	4.74	68.68	28.42	81.1
4'	0.53	33.53	12.12	4.01	68.73	23.94	42.3
5	1.07	29.57	16.18	17.56	73.68	24.01	64.9
6	1.60	43.35	14.95	34.62	76.17	23.98	69.7
Promedio	0.89±0.5	30.09±11.1	19.40±11.8	14.46±12.5	71.68±3.3	26.90±3.1	69.64±16.
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995
L.D.- Límite de Detección

Tabla 32. CONCENTRACIÓN DE METALES TOTALES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. LLUVIAS (agosto, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	45.66	20.06	21.78	75.50	41.41	65.44
2	<L.D.	35.47	11.76	9.70	70.57	23.94	31.50
3	<L.D.	39.99	10.96	8.98	70.83	28.29	33.00
4	<L.D.	20.42	14.61	6.16	76.68	24.02	52.19
5	<L.D.	20.77	12.13	26.13	73.80	34.99	40.13
6	<L.D.	39.78	14.29	10.41	79.18	32.68	49.26
Promedio	<L.D.	33.68±10.6	13.97±3.3	13.86±8.1	74.43±3.4	30.89±6.8	45.25±12.9
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995
L.D.- Límite de Detección

Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	20.75	19.93	22.49	75.61	39.24	84.60
2	<L.D.	36.70	12.98	16.12	73.88	26.17	69.49
3	<L.D.	27.62	9.84	0.91	62.10	32.62	22.48
4	<L.D.	36.41	16.28	32.46	73.24	32.70	54.80
5	<L.D.	29.84	14.45	16.11	72.67	30.53	57.93
6	<L.D.	34.19	10.20	7.59	66.66	24.03	31.92
Promedio	<L.D.	30.92±6.2	13.95±3.8	15.95±11.1	70.69±5.2	30.88±5.4	53.54±23.1
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995
L.D.- Límite de Detección

En la Tabla 34, se presentan los valores de concentración promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) por época de muestreo y el promedio total para la laguna:

Muestreo	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Nortes	0.89±0.5	30.09±11.1	19.40±11.8	14.46±12.5	71.68±3.3	26.903.1	69.64±16.5
Lluvias	<L.D.	33.68±10.6	13.97±3.3	13.86±8.1	74.43±3.4	30.89±6.8	45.25±12.9
Secas	<L.D.	30.92±6.2	13.95±3.8	15.95±11.1	70.69±5.2	30.88±5.4	53.54±23.1
Promedio	0.89±0.5	31.56±8.8	15.776.9	14.75±9.8	72.26±4.1	29.56±5.4	56.14±19.5

Como se puede apreciar de la Tabla 34, los valores de concentración por metal no varían mucho de una época a otra, de forma que el promedio para la laguna representa la tendencia en cuanto a la concentración de los metales estudiados.

En función de las concentraciones promedio, los metales presentan la siguiente tendencia Tabla 35:

Nortes	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Lluvias	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Secas	Ni>Zn>Co>Pb>Cr>Cu>Cd
Promedio	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd

Como se puede observar la tendencia en la concentración de metales es, prácticamente, la misma en las tres épocas de muestreo, a excepción del cobre y cromo cuya posición coincide en las épocas de nortes y lluvias y se invierte en la de secas.

Las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) máximas y mínimas encontradas para metales totales en sedimento de la laguna de Mandinga, por época de muestro se presenta en la Tabla 36:

Tabla 36. Concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) máximas y mínimas de metales totales en sedimento de la Laguna de Mandinga, Ver.						
Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	1.60(6)	<L.D.(1)	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Co	43.35(6)	12.90(2)	45.66(1)	20.42(4)	36.70(2)	20.75(1)
Cu	40.05(2)	12.12(4')	20.06(1)	10.96(3)	19.93(1)	9.48(3)
Cr	34.62(6)	4.01(4')	26.13(5)	6.16(4)	32.46(4)	0.91(3)
Ni	76.17(6)	68.68(4)	79.18(6)	70.57(2)	75.61(1)	62.10(3)
Pb	30.54(1)	23.94(4')	41.41(1)	23.94(2)	39.24(1)	24.03(6)
Zn	83.69(2)	42.30(4')	65.44(1)	31.50(2)	84.60(1)	22.48(3)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.
Entre paréntesis se señala número de estación.

Los valores máximos de concentración se registran con mayor frecuencia en la estación 1, básicamente en la época de lluvias y secas, que coincide con porcentajes altos de carbono orgánico (Tabla 53), lo que implica un acarreo de metales asociados a materia orgánica, perteneciente al sitio 1 (con influencia marina) que probablemente recibe los metales por aportaciones del mar o del río Jamapa. La estación con mayor frecuencia de valores mínimos fue la 4 que pertenece al sitio 3 (estaciones interiores).

En la Figura 9, se presenta la concentración promedio de metales totales en sedimento de la Laguna de Mandinga, donde se comparan con los valores de concentración en sedimento que causan efectos biológicos adversos (Long *et al.*, 1995). Para el cromo, plomo y zinc, todos sus valores de concentración están por debajo del V.S.E.B. (81, 46.7 y 150 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente). A diferencia del níquel cuyos valores de concentración están todos por encima del límite (20.9 $\mu\text{g g}^{-1}$). Los autores no reportan para el cobalto un valor de V.S.E.B. El cadmio (estación 6) y cobre (estación 2) presentan sólo un valor por encima del V.S.E.B. (1.2 y 34 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente) en la época de nortes.

Los resultados de los ANOVA nos muestra que para cobre y plomo total el sitio está relacionado con las concentraciones encontradas (Tablas 50, 51, 52), el valor más alto se presentó en el sitio 1, que recibe directamente las descargas del Río Jamapa (Ostimex, 1996) y las aguas residuales de la industria y zonas urbanas al margen de la cuenca (Hernández, 1996).

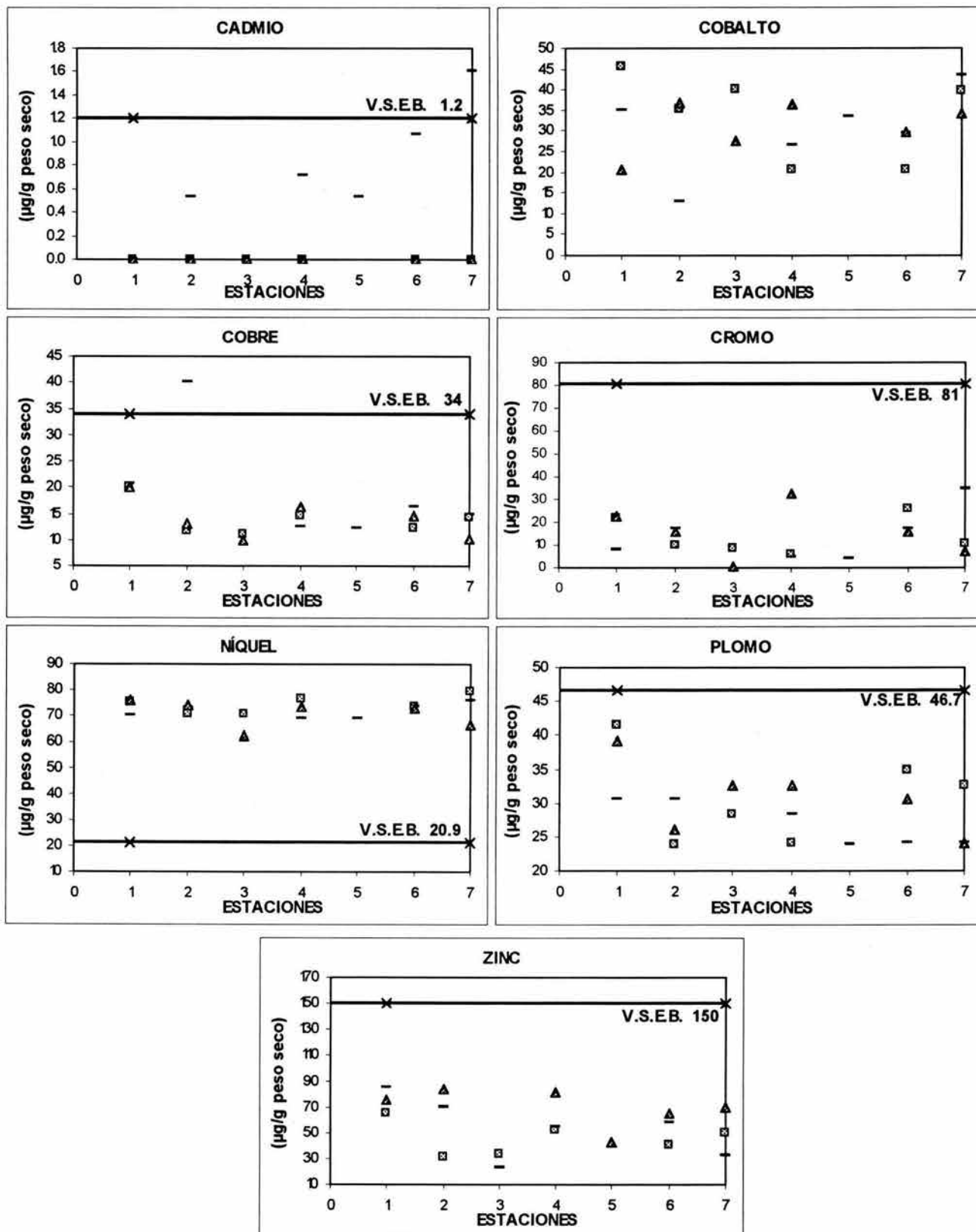


Fig. 9 Concentración promedio de metales totales en sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$) de la Laguna de Mandinga, Ver. comparada con los valores que en sedimentos que producen efectos biológicos (V.S.E.B.)

— Nortes, ■ Lluvias, ▲ Secas

Metales biodisponibles.

En las Tablas 37, 38 y 39 se presentan las concentraciones de metales biodisponibles de sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de la Laguna de Mandinga, en las tres épocas de muestreo:

Tabla 37. CONCENTRACIÓN DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. NORTES (NOVIEMBRE, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	3.03	0.98	3.12	1.46	5.05	25.87
2	<L.D.	3.22	0.54	2.06	1.49	5.05	22.43
4	<L.D.	2.85	0.22	1.91	1.42	4.90	11.42
4'	<L.D.	3.51	0.27	2.21	1.31	4.75	7.21
5	<L.D.	4.50	0.22	3.04	2.03	5.20	9.96
6	<L.D.	4.61	<L.D.	1.61	1.64	5.49	4.12
Promedio	<L.D.	3.62±0.8	0.44±0.3	2.33±0.6	1.56±0.3	5.07±0.3	13.50±8.7
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Límite de Detección

Tabla 38. CONCENTRACIÓN DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. LLUVIAS (AGOSTO, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	6.14	0.52	2.97	1.81	5.34	16.29
2	<L.D.	5.67	0.33	5.97	1.38	4.31	7.42
3	<L.D.	6.04	0.24	1.02	1.64	5.79	7.08
4	<L.D.	6.99	0.31	2.14	1.78	6.67	5.18
5	<L.D.	7.03	0.38	2.22	2.00	6.09	3.38
6	<L.D.	8.38	0.45	3.34	1.96	6.97	4.43
Promedio	<L.D.	6.71±1.0	0.37±0.1	2.94±1.7	1.76±0.2	5.86±1.0	7.30±4.7
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Límite de Detección

Tabla 39. CONCENTRACIÓN DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. SECAS (JUNIO, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	8.63	0.79	1.54	2.06	6.38	19.71
2	<L.D.	7.98	0.31	0.79	2.06	6.53	8.54
3	<L.D.	4.54	<L.D.	1.47	1.49	4.46	4.56
4	<L.D.	2.41	<L.D.	2.14	1.35	5.49	0.65
5	<L.D.	3.44	<L.D.	2.97	1.74	5.94	6.27
6	<L.D.	3.69	0.04	1.01	1.56	5.34	3.39
Promedio	<L.D.	5.11±2.6	0.38±0.4	1.65±0.8	1.71±0.3	5.69±0.8	7.19±6.7
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Límite de Detección

Con base en las tablas anteriores, se presentan las concentraciones promedio para metales biodisponibles en sedimento, por muestreo y el total para la laguna; como puede observarse, en la Tabla 40, los valores de concentración promedio no varían significativamente de una época de muestreo a otra para los diferentes metales estudiados, y que los valores de concentración para cadmio durante las tres épocas de muestreo estuvieron por debajo del límite de detección:

<i>Muestreo</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
Nortes	<L.D.	3.62±0.8	0.44±0.3	2.33±0.6	1.56±0.3	5.07±0.3	13.50±8.7
Lluvias	<L.D.	6.71±1.0	0.37±0.1	2.94±1.7	1.76±0.2	5.86±1.0	7.30±4.7
Secas	<L.D.	5.11±2.6	0.38±0.4	1.65±0.8	1.71±0.3	5.69±0.8	7.19±6.7
Promedio	<L.D.	5.15±2.0	0.40±0.2	2.31±1.2	1.68±0.3	5.54±0.8	9.33±7.1

En función de las concentraciones promedio, los metales presentan la siguiente tendencia (Tabla 41):

Nortes	Zn>Pb>Co>Cr>Ni>Cu>Cd
Lluvias	Zn>Co>Pb>Cr>Ni>Cu>Cd
Secas	Zn>Pb>Co>Ni>Cr>Cu>Cd
Promedio	Zn>Pb>Co>Cr>Ni>Cu>Cd

A lo largo del año, las concentraciones de zinc variaron de 7 a 13.5 $\mu\text{g g}^{-1}$, las de plomo y cobalto alrededor de 3.6 a 6.7 $\mu\text{g g}^{-1}$; las de cromo y níquel entre los límites de 1.6 a 2.9 $\mu\text{g g}^{-1}$, el cobre entre valores menores a 0.5 $\mu\text{g g}^{-1}$, los de cadmio estuvieron por debajo del límite de detección de 0.236 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) máximas y mínimas encontradas para metales biodisponibles en sedimento de la laguna de Mandinga, por época de muestro se presenta en la Tabla 42:

Tabla 42. Concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) máximas y mínimas de metales biodisponibles en sedimento de la Laguna de Mandinga, Ver.						
Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Co	4.61(6)	2.85(4)	8.38(6)	5.67(2)	8.63(1)	2.41(4)
Cu	0.98(1)	<L.D.(6)	0.52(1)	0.24(3)	0.79(1)	<L.D.(3,4,5)
Cr	3.12(1)	1.61(6)	5.97(2)	1.02(3)	2.97(5)	0.79(2)
Ni	2.03(5)	1.31(4')	2.00(5)	1.38(2)	2.06(1,2)	1.35(4)
Pb	5.49(6)	4.75(4')	6.97(6)	4.31(2)	6.53(2)	4.46(3)
Zn	25.87(1)	4.12(6)	16.29(1)	3.38(5)	19.71(1)	0.65(4)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.
Entre paréntesis se señala número de estación.

La estación con mayor frecuencia de valores máximos de concentración fue la 1. Frente al Conchal (perteneciente al sitio 1 con influencia marina), probablemente por los aportes de agua marina y los provenientes del río Jamapa que acarrear metales asociados a materia orgánica, lo que coincide con el porcentaje elevado de carbono orgánico (Tabla 53) registrado en esa estación durante las épocas de nortes y lluvias. La concentración de cadmio durante las tres épocas de muestreo siempre estuvieron por debajo del límite de detección. La mayor frecuencia de valores mínimos se presentó en la estación 4 que pertenece al sitio 3 (estaciones interiores), esta tendencia coincide con la de metales totales.

Los resultados de los ANOVA permiten observar que la concentración encontrada para cobalto en la fracción biodisponible está influenciada por la época de muestreo; el sitio tuvo una influencia sobre los niveles de cobre, y la época y el sitio tuvieron una relación directa con la concentración de zinc (Tablas 50, 51 52). El promedio de concentración más alto de cobalto se presentó en la época de lluvias y para el zinc en la de nortes, ambos constituyen factores que permiten la difusión de materiales hacia el sistema lagunar (Hernández, 1994); en relación con el cobre y zinc, la concentración promedio más alta se presentó en el sitio 1 (con influencia marina), que recibe los aportes directos del Río Jamapa que acarrea contaminantes industriales y urbanos de diversos municipios (Hernández, 1996).

METALES EN ORGANISMOS.

En Mandinga se tomaron muestras de ostión (*Crassostrea virginica*), en la Tabla 43 se registran datos de talla y peso, mínimo y máximo y su valor promedio, por estación de muestreo.

L. Mandinga		Talla (mm)			Peso húmedo (g)		
Est.	muestreo	mínima	máxima	promedio	mínima	máxima	promedio
2	Nortes	40.0	102.0	71.7±13.7	4.1	18.5	7.7±3.1
3	Nortes	65.0	135.0	85.9±16.3	7.6	22.8	12.5±5.6
4	Nortes	10.0	106.0	72.7±17.6	1.1	21.8	10.0±4.7
5	Nortes	30.0	100.0	62.0±13.9	1.4	13.3	6.4±3.3
6	Nortes	40.0	110.0	59.7±16.5	1.7	18.5	5.2±3.7
3	Lluvias	62.0	90.0	74.8±8.0	6.0	21.0	13.8±3.1
4	Lluvias	50.0	176.0	86.5±28.7	4.0	49.0	14.8±11.9
5	Lluvias	55.0	88.0	69.9±8.7	4.0	22.0	9.8±4.4
3	Secas	30.0	100.0	67.0±28.3	0.4	16.5	9.2±6.5
6	Secas	35.0	95.0	65.3±20.8	1.7	13.1	6.2±4.2

La talla mínima se presentó en la época de nortes y la máxima en la de lluvias, el peso mínimo en la de secas y el máximo en la de lluvias.

En las Tablas 44, 45 y 46, se presentaron las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de metales determinadas en ostión de la laguna de Mandinga en las tres épocas de muestreo:

Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
2	2.31	21.41	295.00	21.52	3.68	13.44	164.15
3	4.53	33.51	419.21	22.94	5.59	17.58	251.78
4	2.54	22.93	189.74	23.41	3.12	11.29	156.50
5	2.93	24.73	118.15	23.73	3.93	13.87	149.36
6	2.67	25.52	183.75	24.68	4.44	12.58	150.92
Promedi	3.00±0.9	25.62±4.7	241.17±118.0	23.25±1.2	4.15±0.9	13.75±2.4	174.54±43.6
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.C.- Level of Concern. Niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles. F.A.O. (Nauen, 1983)

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible. L.D.- Limite de detección.

Tabla 45. CONCENTRACIÓN DE METALES EN OSTIÓN ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. LLUVIAS (agosto, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
3	2.14	17.31	12.54	18.99	2.77	12.58	145.74
4	2.02	18.57	5.60	19.94	3.53	13.44	146.03
5	2.27	20.22	109.43	20.73	3.22	14.30	135.59
Promedio	2.14±0.1	18.70±1.5	42.52±58.0	19.89±0.9	3.17±0.4	13.44±0.9	142.46±5.9
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.C.- Level of Concern. Niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles. F.A.O. (Nauen, 1983)

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible. L.D.- Limite de detección.

Tabla 46. CONCENTRACIÓN DE METALES EN OSTIÓN ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. SECAS (junio, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
3	3.22	13.46	51.49	16.31	2.21	10.86	152.28
6	4.75	16.65	272.56	18.36	3.93	11.72	145.71
Promedio	3.98±1.1	15.06±2.2	162.02±156.3	17.33±1.5	3.07±1.2	11.29±0.6	148.99±4.6
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.C.- Level of Concern. Niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles. F.A.O. (Nauen, 1983)

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible. L.D.- Limite de detección.

De acuerdo con las Tablas 44, 45 y 46, de concentración de metales en organismos, la concentración promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) por época de muestreo y el promedio total para el ostión de la Laguna de Mandinga es como sigue (Tabla 47):

Tabla 47. Concentración promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$) por metal en ostión de la Laguna de Mandinga, Ver.							
Muestreo	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
Nortes	3.00±0.9	25.62±4.7	241.17±118.0	23.25±1.2	4.15±0.9	13.75±2.4	174.54±43.6
Lluvias	2.14±0.1	18.70±1.5	42.52±58.0	19.89±0.9	3.17±0.4	13.44±0.9	142.46±5.9
Secas	3.98±1.1	15.06±2.2	162.02±156.3	17.33±1.5	3.07±1.2	11.29±0.6	148.99±4.6
Promedio	2.94±1.0	21.43±5.7	165.75±133.7	21.06±2.7	3.64±0.9	13.17±1.9	159.81±33.2

En función de las concentraciones promedio por metal se tiene la secuencia de la Tabla 48:

Tabla 48. Secuencia de metales en ostión de la Laguna de Mandinga, Ver.	
Nortes	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Lluvias	Zn>Cu>Cr>Co>Pb>Ni>Cd
Secas	Cu>Zn>Cr>Co>Pb>Cd>Ni
<i>Promedio</i>	<i>Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd</i>

Los promedios de concentración de los metales estudiados en las tres épocas de muestreo y el promedio muestran que el cobre y el zinc ocupan el primero y segundo lugar en la secuencia con valores de concentración mucho más elevado que para el resto de los metales, con un límite que va de 42 a 241 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Los valores máximos y mínimos de concentración de los metales estudiados en ostión de la laguna de Mandinga se presentan en la Tabla 49:

Tabla 49. Concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) máximas y mínimas de metales en ostión de la Laguna de Mandinga, Ver.						
Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	4.53(3)	2.31(2)	2.27(5)	2.02(4)	4.75(6)	3.22(3)
Co	33.51(3)	21.41(2)	20.22(5)	17.31(3)	16.65(6)	13.46(3)
Cu	419.21(3)	118.74(4)	109.43(5)	5.60(4)	272.56(6)	51.49(3)
Cr	24.68(6)	21.52(2)	20.73(5)	18.99(3)	18.36(6)	16.31(3)
Ni	5.59(3)	3.12(4)	3.53(4)	2.77(3)	3.93(6)	2.21(3)
Pb	13.87(5)	11.29(4)	14.30(5)	12.58(3)	11.72(6)	10.86(3)
Zn	251.78(3)	149.36(5)	146.03(4)	135.59(5)	145.71(6)	152.28(3)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.

Entre paréntesis se señala número de estación.

Los valores máximos de concentración de metales en ostión se registraron con mayor frecuencia en las estaciones 6 (Caño los Perros) y 5 (Caño Salazar) correspondientes al sitio 3. Los mínimos se presentaron con mayor frecuencia en la estación 3 (Laguna la Redonda) perteneciente al sitio 2 (en contacto con otros cuerpos de agua).

Los resultados de los ANOVA demuestran que la época de muestreo tiene un efecto sobre la concentración encontrada para cobalto en ostión, así como la época y el sitio influyen sobre la encontrada para el cromo (Tablas 50, 51 52).

La concentración promedio de cobalto y cromo en ostión fue mayor en la época de nortes, los vientos del norte favorecen la presencia de contaminantes, sobre todo al comienzo de la temporada (Hernández, 1994). El cromo fue significativamente mayor en el sitio 3 (estaciones 4, 5 y 6), debido probablemente a la influencia de las mareas que se ejerce sobre el Estero El Conchal, en menor grado en la Laguna Redonda y de manera muy limitada en la Laguna de Mandinga (Anguas, 1978), por lo que se puede decir que la laguna es un

sistema de baja energía, que la hace más un depósito que una zona de alta acción contaminante, ya que los principales aportes a la laguna son por la cuenca del Río Jamapa/Cotaxtla (Hernández, 1994). Por otro lado, esta zona recibe el aporte de diversos arroyos que podrían estar acarreando materiales asociados al cromo.

De acuerdo con la Figura 10, en la que se registran las concentraciones promedio de metales en ostión de la laguna de Mandinga, comparando con el límite de la FDA (1993), todos los valores de concentración analizados para el cromo y el plomo en ostión se encuentran por encima de dicho límite (100%), lo cual contrasta con lo encontrado para cromo y plomo totales que se ubican por debajo del V.S.E.B. señalado por Long *et al.* (1995) (Fig. 9); en el caso del cobre el 80% de los valores estuvieron por encima del límite máximo promedio de la FAO (Nauen, 1983), a diferencia del cobre total que se ubicó por debajo del límite de Long *et al.*

Los altos valores de concentración de plomo indican la presencia de desechos industriales (refinerías, cementeras, fabricación de estructuras metálicas) y desechos domésticos, que descargan en el Río Blanco y Jamapa y se originan probablemente en los municipios de Veracruz, Medellín, Jamapa, Boca del Río, Tlalixcoyan y Alvarado (Hernández, 1996).

El cromo es un elemento esencial que se encuentra en la naturaleza (rocas, suelo, polvo y gases volcánicos y en plantas y animales), ciertas formas químicas están asociadas a descargas de industrias como fabricación del acero y otras aleaciones, cromado, elaboración de tintes y pigmentos, tenerías y productoras de fertilizantes que eliminan sus desechos en forma de cromatos (Villanueva y Botello, 1992; ATSDR, 2000); como se verá más adelante, los valores de concentración de cromo y plomo en sedimento están bajo los de los V.S.E.B., a diferencia de lo que ocurre en ostión que presenta concentraciones elevadas (por encima de lo que marca la FDA) asociadas a un proceso de bioacumulación (Villanueva y Botello, 1998).

Para el caso del níquel y zinc, todos los valores están por debajo de los límites de la FDA (1993) y la FAO (Nauen, 1983) respectivamente; en contraste con las concentraciones de níquel total que están por encima del V.S.E.B. Para el cadmio sólo dos valores (20%) son mayores que los límites establecidos por la FDA (uno registrado en la época de nortes en la estación 3, y en la de secas en la estación 6), pero en sedimento las concentraciones de cadmio total están por debajo del V.S.E.B. Cabe señalar que todas las concentraciones de cadmio y plomo están por encima del límite que estipula México en la NOM-031-SSA1-1993 de 0.5 y 1.0 mg/kg respectivamente (D.O.F., 1995).

Al igual que en la Laguna de Alvarado, la presencia de cobre y zinc entre los primeros lugares de concentración se justifica debido a que ambos metales son esenciales y se encuentran comúnmente en la naturaleza (ATSDR, 1990 y 1994); para el cobre prácticamente todas las concentraciones registradas en ostión estuvieron por encima del límite máximo permisible promedio a diferencia del zinc.

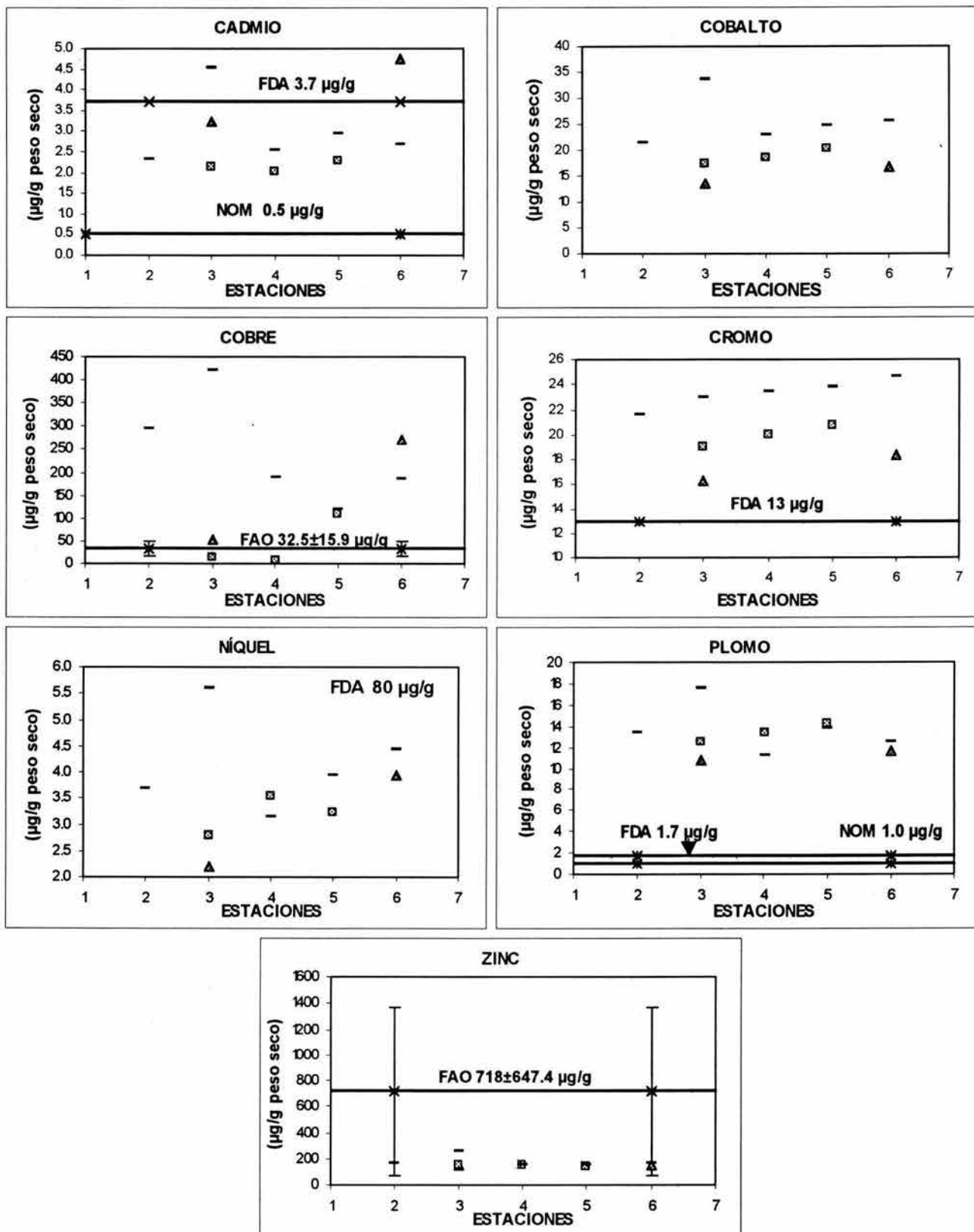


Fig. 10 Concentraciones promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metales en ostión de la Laguna de Mandinga, Ver., comparado con la NOM y los límites de la FDA y FAO

— Nortes, ■ Lluvias, ▲ Secas

Del análisis de talla y peso promedio, de las tres épocas de muestreo, contra la concentración de los diferentes metales encontrada en ostión se tiene que la R^2 es significativa para el cadmio con un índice de determinación de 0.4196 (talla) y 0.5419 (peso), y un valor de $\alpha=0.041$ y 0.013 respectivamente $< \alpha=0.05$ (Figura 11). El valor de R es de -0.62 y -0.65 respectivamente, de forma que entre la talla/peso del ostión existe una relación inversamente proporcional a la concentración de cadmio encontrada en el molusco.

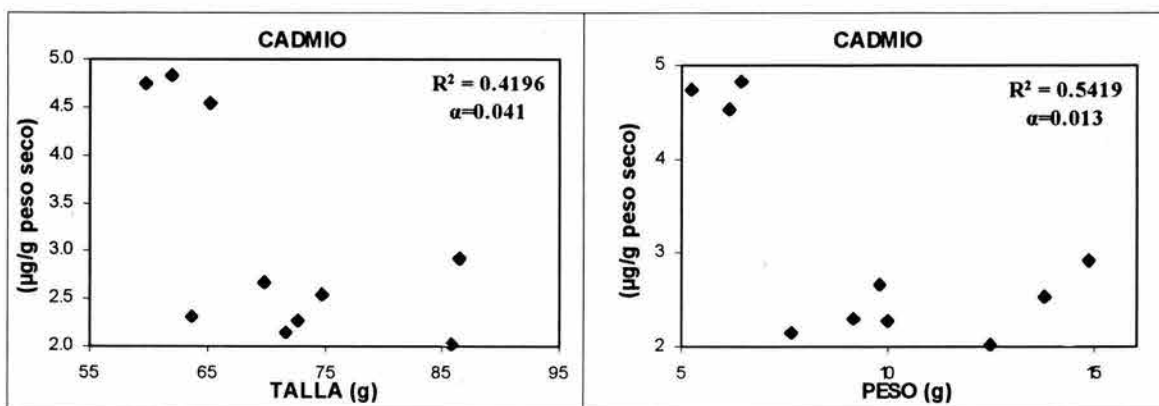


Fig. 11 Concentración promedio de cadmio vs. Peso y talla promedio de ostión de la Laguna de Mandinga, Ver.

En la Figura 12, se comparan los valores de concentración de metales en ostión y sedimento (biodisponibles y totales). Para el cadmio predominan los valores de concentración altos en ostión, en comparación con la concentración de cadmio biodisponible y total. Las concentraciones de cadmio biodisponible estuvieron por debajo del límite de detección del equipo ($0.236 \mu\text{g g}^{-1}$), en las tres épocas de muestreo, al igual que las que se reportan para metales totales durante las épocas de lluvias y secas.

Para el cobalto los valores más altos corresponden a los totales. En el caso del cobre los valores más altos corresponden a ostión, por lo que al comparar con totales y biodisponibles, la diferencia entre cobre en ostión y biodisponible es tan alta que las concentraciones de la fracción biodisponible no se aprecian en el gráfico.

Las concentraciones de cromo son más altas en ostión que en sedimento (totales y biodisponibles), a diferencia del níquel, los valores de concentración total son mucho mayores a los que se reportan para ostión y la fracción biodisponible.

Al igual que para el cobalto y el níquel, en el plomo los valores más altos correspondieron al plomo total, en comparación con las concentraciones de biodisponibles y en ostión, lo que significa que sólo una parte de estos metales está disponible para que el ostión lo asimile a través de los alimentos que filtra del medio.

Para el zinc se observa que las concentraciones predominantes son las encontradas en ostión, en el gráfico se puede apreciar que las concentraciones encontradas en ostión siempre fueron mayores que las de la fracción biodisponible, esto se entiende ya que es un

elemento que se encuentran comúnmente en la naturaleza, y por ser esencial se le encuentra en animales y plantas; el zinc es el más común de los elementos en la corteza terrestre, además de estar presente en todos los alimentos (ATSDR, 1994), por otro lado indica un proceso de bioacumulación que el ostión toma con los alimentos que ingiere por filtración (Connell y Miller, 1984); el ostión tiende a concentrar selectivamente ciertos metales como cobre, cadmio y zinc (Kennish, 1992).

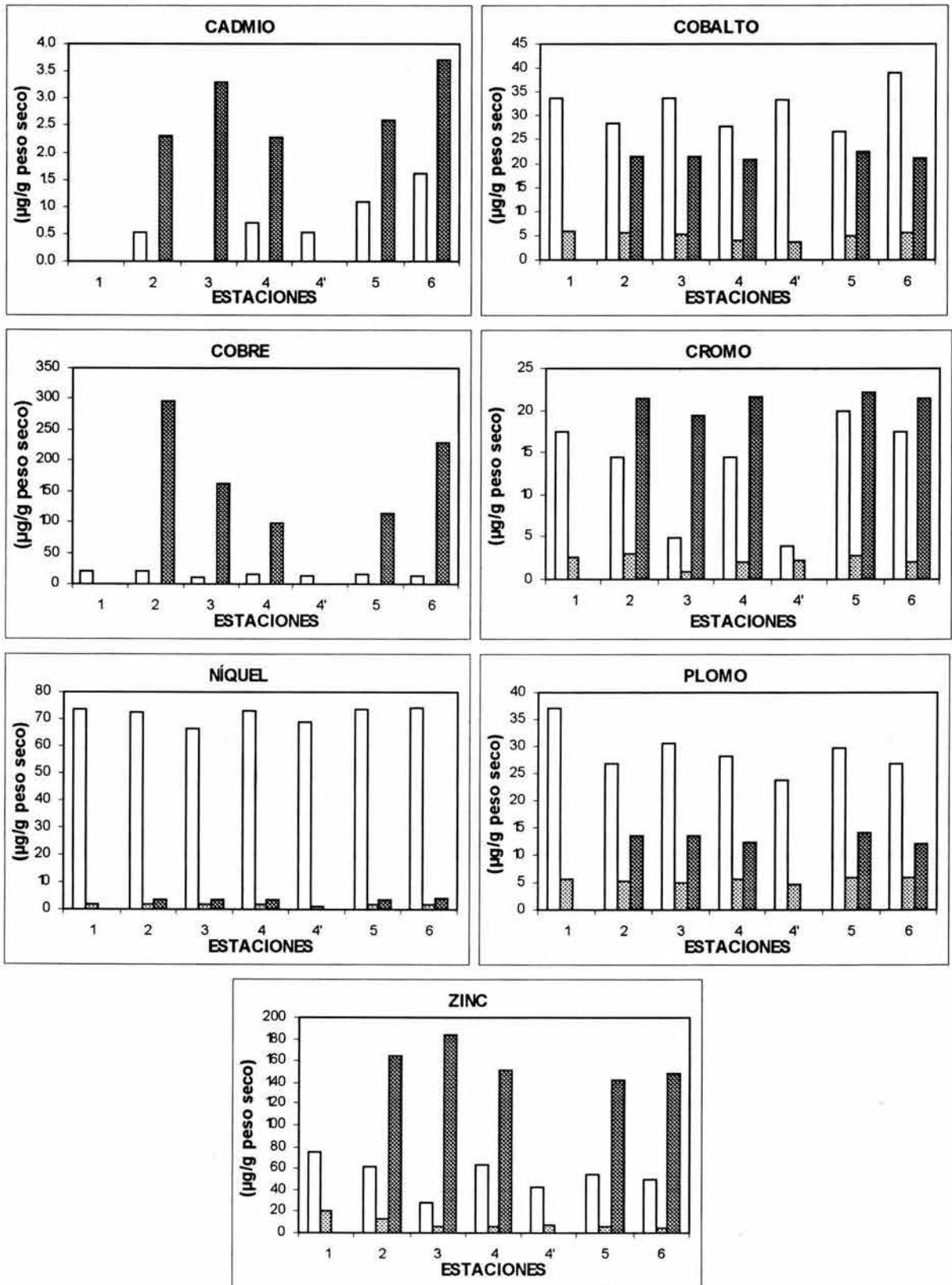


Fig. 12 Concentración promedio de metales en sedimento total y biodisponible en sedimento y ostión ($\mu\text{g g}^{-1}$) de la Laguna de Mandinga, Ver.

□ Metal total ▨ Metal biodisponible ■ Metal en ostión

Se realizaron análisis de regresión entre la concentración de metales encontrada en ostión (variable dependiente) y la encontrada en sedimento (metales totales y biodisponibles), porcentaje de carbono orgánico y pH (variables independientes). El análisis demuestra que para el cromo existe una relación directamente proporcional entre la concentración de ostión y el cromo total en sedimento, con el pH resulta inversamente proporcional; en cuanto a la concentración de plomo en ostión existe una relación directamente proporcional con el plomo en sedimento (total y biodisponible), así como con el pH y el porcentaje de carbono orgánico.

En la Tabla 50, se presentan los resultados de los análisis estadísticos obtenidos para metales en organismos y en sedimento (biodisponible y total).

Tabla 50. RESUMEN DE ANOVA CUADRO LATINO PARA LA LAGUNA DE MANDINGA, Ver.			
METAL	N	ÉPOCA	SITIO
cobalto biodisponible	18	*0.031	0.661ns
cobre biodisponible	14	0.197ns	*0.029
cromo biodisponible	17	0.299ns	0.942ns
níquel biodisponible	18	0.357	0.623
plomo biodisponible	18	0.117ns	0.329ns
zinc biodisponible	18	*0.005	*0.000
cadmio total	x	x	x
cobalto total	18	0.792ns	0.886ns
cobre total	17	0.946ns	*0.000
cromo total	18	0.937ns	0.499ns
níquel total ¹	Análisis no paramétrico		
plomo total	18	0.204ns	*0.016
zinc total	18	0.065ns	0.109ns
cadmio ostión	10	0.091ns	0.963ns
cobalto ostión	10	*0.038	0.914ns
cobre ostión	10	0.084ns	0.924ns
cromo ostión	10	*0.000	*0.005
níquel ostión	10	0.269ns	0.613ns
plomo ostión	10	0.333ns	0.478ns
zinc ostión ¹	Análisis no paramétrico		

*p<0.05 Significativo. ns= no significativo. x= <L.D.

1. Kruskal-Wallis.

De acuerdo con los resultados de los ANOVA (Tabla 50, 51 y 52), se puede observar que en la laguna de Mandinga las concentraciones encontradas, para zinc biodisponible y cromo en ostión, se encuentran relacionadas con la época de muestreo y el sitio; las de cobalto biodisponible y en ostión están influenciadas por la época, así como el cobre (total y biodisponible) y el plomo total por el sitio, los promedios de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) se muestran en la Tabla 51.

METAL	N	LI	S	p<0.05
Co biodisponible	3.62±0.8	6.71±1.0	5.11±2.6	0.031
Zn biodisponible	13.50±8.7	7.30±4.7	7.19±6.7	0.005
Co ostión	25.62±4.7	18.70±1.5	15.06±2.2	0.038
Cr ostión	23.25±1.2	19.89±0.9	17.33±1.5	0

Para el cobalto biodisponible el valor máximo de concentración promedio se registró en la época de lluvias, a diferencia del zinc biodisponible, cobalto y cromo en ostión, que se presentó en la época de nortes; tanto las lluvias como los vientos son factores que influyen en la difusión de materiales ajenos al sistema, siendo mayor el acarreo al inicio de la temporada de lluvias o de nortes (Hernández, 1994). Comparando los promedios de concentración de metales en la época de nortes, que en general resultan más elevados que en las otras dos épocas de muestreo, coincide con lo que reportan Vargas y Sobrino (2002) en una evaluación de toxicidad en las muestras de sedimento que da como resultado un grado de toxicidad alta para prácticamente en toda la laguna.

Promedios de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) por sitio de muestreo, y el valor de $P<0.05$ (Tabla 52).

METAL	1	2	3	p<0.05
Cu biodisponible	0.76±0.23	0.36±0.13	0.27±0.13	0.029
Zn biodisponible	20.62±4.85	10.01±7.10	5.60±3.23	0
Cu total	20.17±0.31	11.39±1.32	13.78±1.96	0
Pb total	37.06±5.75	28.31±3.43	27.93±4.47	0.016
Cr ostión		19.94±2.92	21.81±2.49	0.005

En general (excepto cromo en ostión), las concentraciones más altas corresponden al sitio 1 (estación 1), que está en contacto con el mar y el Río Jamapa, éste constituye el principal aporte a la Laguna de Mandinga (Hernández, 1994; OSTIMEX, 1996) y que acarrea los desechos de refineras, cementeras, industrias de fabricación de estructuras metálicas y desechos urbanos (Hernández, 1996). Los resultados anteriores contrastan con lo reportado por Vargas y Sobrino (2002), ya que reportan la estación 1 con un grado de toxicidad media.

MATERIA ORGÁNICA.

La Tabla 53 registra los porcentajes de carbono orgánico encontrados en sedimento de la Laguna de Mandinga.

Estación	Nortes	Lluvias	Secas
1	3.85	3.57	2.15
2	3.37	3.22	1.31
3		3.07	0.81
4	3.30	3.45	2.41
4'	3.15		
5	4.20	2.87	2.12
6	3.35	3.70	1.10
Promedio	3.54±0.4	3.31±0.3	1.65±0.7

El valor promedio más bajo se presentó en la época de secas y el máximo en la de nortes. Los valores más altos correspondieron a las épocas de nortes y lluvias, lo cual se explica por efecto de los vientos superficiales y los aportes de materiales acarreados por la lluvia.

De los resultados obtenidos para las tres lagunas en estudio, en general, Mandinga es la que presentó los valores más altos de materia orgánica; resulta interesante comparar estos valores con los reportados por Villanueva (1987) para el Río Coatzacoalcos (5.4% y 3.9% dos puntos cercanos a la ciudad del mismo nombre) que recibe los desechos urbanos e industriales de la ciudad.

Se graficaron los porcentajes de carbono orgánico contra la concentración de metales biodisponibles y totales en sedimento, para las tres épocas de muestreo, se esperaba que existiera una relación significativa entre ambas variables ya que el material orgánico funciona como un depósito de metales pesados, lo que se refleja en la coincidencia de porcentajes altos de carbono orgánico en las estaciones con mayor frecuencia de valores máximos de concentración de metales.

En el caso de los biodisponibles no se encuentra una relación entre la concentración de metales y porcentaje de carbono orgánico, el metal que presentó un índice de determinación más alto es cobalto ($R^2= 0.2603$). Para metales totales el índice de determinación más alto se presentó para cadmio ($R^2= 0.6024$) que representa una relación significativa ya que el valor de $\alpha=6.05E-05$ (Figura 13), la $R= -0.78$ que indica una relación inversamente proporcional entre la concentración de cadmio total en sedimento y el % carbono orgánico.

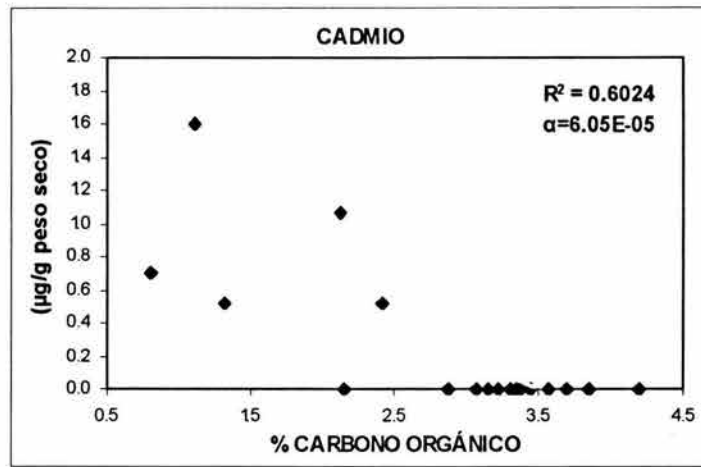


Fig. 13 % de Carbono orgánico y cadmio total en sedimento la Laguna de Mandinga, Ver.

LAGUNA DE TAMIAHUA, VERACRUZ.

METALES EN SEDIMENTO.

Metales totales.

En las Tablas 54, 55 y 56, se presentan las concentraciones de metales totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) en sedimento de la Laguna de Tamiahua, en las tres épocas de muestreo:

Tabla 54. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES TOTALES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. NORTES (noviembre, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	7.99	25.27	7.91	<L.D.	67.66	10.84	41.26
2	8.30	24.72	9.98	<L.D.	67.26	1.67	27.73
3	8.29	37.83	12.47	<L.D.	79.56	74.64	76.58
4	8.91	24.68	6.56	<L.D.	67.15	3.66	23.43
5	9.38	25.97	10.41	<L.D.	79.22	10.89	84.17
6	5.85	18.77	10.42	156.12	20.30	7.98	86.92
7	5.04	18.45	6.34	51.74	20.71	17.65	59.38
8	6.12	14.92	1.36	60.23	14.05	36.06	6.08
9	7.56	19.10	2.22	136.77	23.03	29.34	36.22
Promedio	7.49±1.5	23.30±6.7	7.52±3.8	101.21±52.9	48.77±28.2	21.42±23.0	49.09±29.0
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995.
L.D.- Límite de Detección.

Tabla 55. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES TOTALES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. LLUVIAS (septiembre, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	5.2	28.62	7.48	0.15	51.57	6.48	<L.D.
2	5.2	17.82	4.87	<L.D.	46.57	10.86	<L.D.
3	6.3	33.53	2.60	1.22	59.54	6.49	31.05
4	6.4	34.87	7.71	0.61	61.65	10.88	26.72
5	6.5	36.77	8.82	1.07	61.03	13.07	22.84
6	7.0	37.74	7.80	0.91	60.49	10.86	12.81
7	7.3	38.41	7.69	0.15	605.15	10.84	11.31
8	7.1	30.86	10.40	0.72	71.37	10.85	69.10
9	8.0	28.26	8.14	<L.D.	66.75	10.30	43.07
Promedio	6.61±0.	31.88±6.5	7.28±2.3	0.69±0.4	59.87±7.8	10.07±2.2	30.99±20.0
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995.
L.D.- Límite de Detección.

Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
2	1.88	33.22	11.22	30.35	73.10	32.73	45.13
3	3.77	34.18	11.77	<L.D.	75.64	28.34	44.18
4	3.59	34.53	13.15	1.37	79.34	28.37	67.24
5	4.49	32.24	12.69	2.28	78.48	37.09	55.64
6	3.63	27.94	63.56	1.52	81.68	6.50	13.38
7	5.41	28.88	7.91	2.28	58.02	8.69	27.98
8	5.58	34.49	9.61	1.37	56.21	8.68	7.27
Promedio	4.05±1.3	32.21±2.7	18.56±19.9	6.53±11.7	71.78±10.4	21.48±13.0	37.26±22.0
V.S.E.B.*	1.2		34.0	81.0	20.9	46.7	150.0
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

*Valores en sedimentos que producen efectos biológicos (ERL), Long *et al.*, 1995.
L.D.- Límite de Detección.

En la Tabla 55, no se tomó en cuenta el valor de concentración de $605.15 \mu\text{g g}^{-1}$ para níquel en la época de lluvias en la estación 7, ya que dispara en gran medida el cálculo del promedio y la desviación estándar.

Las concentraciones promedio de metales totales en sedimento por muestreo y el promedio total para Tamiahua fueron (Tabla 57):

Muestreo	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Nortes	7.49±1.5	23.30±6.7	7.52±3.8	101.21±52.9	48.77±28.2	21.42±23.0	49.09±29.0
Lluvias	6.61±0.9	31.88±6.5	7.28±2.3	0.69±0.4	59.87±7.8	10.07±2.2	30.99±20.0
Secas	4.05±1.3	32.21±2.7	18.56±19.9	6.53±11.7	71.78±10.4	21.48±13.0	37.26±22.0
Promedio	6.21±1.9	28.88±7.0	10.52±11.5	26.40±49.0	59.18±20.4	17.35±15.9	39.98±24.7

En función de dichas concentraciones promedio, los metales se encontraron en el siguiente orden de mayor a menor concentración (Tabla 58):

Nortes	Cr>Zn>Ni>Co>Pb>Cu>Cd
Lluvias	Ni>Co>Zn>Pb>Cu>Cd>Cr
Secas	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Promedio	Ni>Zn>Co>Cr>Pb>Cu>Cd

En las tres épocas de muestreo las tendencias fueron diferentes entre ellas y en relación con el promedio general, lo anterior se debe a que el cromo y níquel presentaron valores altos

en la época de nortes y secas respectivamente, comparados con las otras épocas de muestreo, el resto de los metales no presentó diferencias tan pronunciadas entre épocas.

Los valores de concentración máximos y mínimos ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) para metales totales en sedimento, por época de muestreo, se muestran en la Tabla 59:

Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	9.38(5)	5.04(7)	8.09(9)	5.21(1)	5.58(8)	1.88(2)
Co	37.83(3)	14.92(8)	38.41(7)	17.82(2)	34.53(4)	27.94(6)
Cu	12.47(3)	1.36(8)	10.40(8)	2.60(3)	63.56(6)	7.91(7)
Cr	156.12(6)	<L.D.(1-5)	1.22(3)	<L.D.(2,9)	30.35(2)	<L.D.(3)
Ni	79.56(5)	14.05(8)	605.15(7)	46.57(2)	81.68(6)	56.21(8)
Pb	74.64(3)	1.67(2)	13.07(5)	6.48(1)	37.09(5)	6.50(6)
Zn	86.92(6)	6.08(8)	69.10(8)	<L.D.(1,2)	67.24(4)	7.27(8)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.

Entre paréntesis se señala número de estación.

Las estaciones que con mayor frecuencia presentaron valores máximos fueron la 3 (La Laja), 5 (Isla del Toro) (pertenecientes al sitio 3 –estaciones interiores) y 6 (Boca Cucharas) (forma parte del sitio 2 –en contacto con otros cuerpos de agua) que la SARH (1981) reporta como áreas contaminadas por las descargas de los esteros y por acarreo de corrientes que van hacia Isla del Toro.

La zona central de la laguna, en Boca Cucharas y la Loza, se encuentra próxima a las plataformas de perforación de PEMEX alrededor de las cuales quedaron lodos de perforación que resultaron tóxicos para las poblaciones de ostión (García, 1969; S.R.H., 1972; SARH, 1981). Asimismo, Botello *et al.* (1994) detectó sedimentos tóxicos, lo que coincide con el hecho de haber registrado en esta zona la mayor frecuencia de valores máximos de concentración de metales. Por otro lado, las estaciones 5, 6 y 7 fueron las que presentaron los porcentajes más altos de carbono orgánico (Tabla 74), la 6 los registró en las tres épocas de muestreo, lo que sugiere que esas áreas están recibiendo aportes de materia orgánica asociada a metales.

Las estaciones con mayor frecuencia de valores mínimos de concentración fueron la 2 y la 8 correspondientes a los sitios 3 y 1 respectivamente, el primero corresponde a estaciones interiores y el otro con influencia marina. En este caso resulta contradictorio el que la estación 2 presente la mayor frecuencia de valores mínimos, ya que Botello *et al.* (1994) reporta la presencia de sedimentos tóxicos, a diferencia del trabajo de la SARH (1981) que coincide en que la zona norte de la laguna está menos contaminada que la sur.

Los valores mínimos fueron más frecuentes en la época de nortes al sur de la laguna; durante las lluvias prácticamente todos se presentaron hacia el norte en las estaciones 1 y 2 debido probablemente a las corrientes, como la que se dirige hacia el sur, al oeste de la Isla

Juan A. Ramírez y otra hacia el norte entre la Isla del Toro y Cabo Rojito (Botello *et al.*, 1994). La SARH (1981) señala la zona norte de la laguna como la menos contaminada en comparación con la región sur. En la época de secas los mínimos se registran básicamente en la costa oeste de la laguna (estaciones 3 a 8).

Cabe señalar, que las concentraciones que resultaron significativas en función de la época, de acuerdo con los resultados de los ANOVA fueron el cobalto y cromo total (Tablas 72, 73); para cobalto las concentraciones promedio durante la época de lluvias y secas fueron muy similares y comparativamente mayores que en la de nortes; en cuanto al cromo la concentración promedio, en la época de nortes, fue mucho más alta comparada con los promedios registrados en la de lluvias y secas. El comportamiento en la concentración de ambos metales fue opuesto, la época de nortes puede permitir la resuspensión de material sedimentado por efecto de los vientos, y por otro lado las lluvias podrían estar acarreado contaminantes desde los esteros Cucharas, Tancochín, o de la Laja y de Tamiahua (SARH, 1981), o por otro lado, permitir el aumento en la concentración de metales por efecto de la evaporación durante la época de secas.

De la Figura 14, se observa que para el cadmio todos los valores de concentración están por encima del V.S.E.B., es importante señalar que su presencia en ambientes marinos disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Villanueva y Botello, 1992).

Para el níquel el 88% de las muestras estuvieron por encima del V.S.E.B. (excepto las concentraciones reportadas para las estaciones 6, 7 y 8), a diferencia del zinc que ningún valor estuvo por encima del límite.

El níquel, es uno de los elementos más abundantes (24° lugar), se le encuentra en la corteza terrestre y en el fondo oceánico formando nódulos del fondo marino; pero si se considera que prácticamente todas las muestras estaban por encima del V.S.E.B. es importante señalar que las actividades antrópicas pudieran ser la causa de la liberación de níquel al medio acuático (actividades mineras, elaboración de colorantes, fabricación de baterías, industrias que hacen aleaciones o compuestos con níquel, por la combustión de gasolina y carbón, los incineradores de basura.) (ATSDR, 1997).

Para el cobre (estación 6 en la época de secas) y plomo (estación 3 en la época de nortes) se tiene un sólo valor por encima del V.S.E.B. Para el cromo se detectaron valores por encima del límite sólo en dos estaciones (6 y 9), durante la época de nortes.

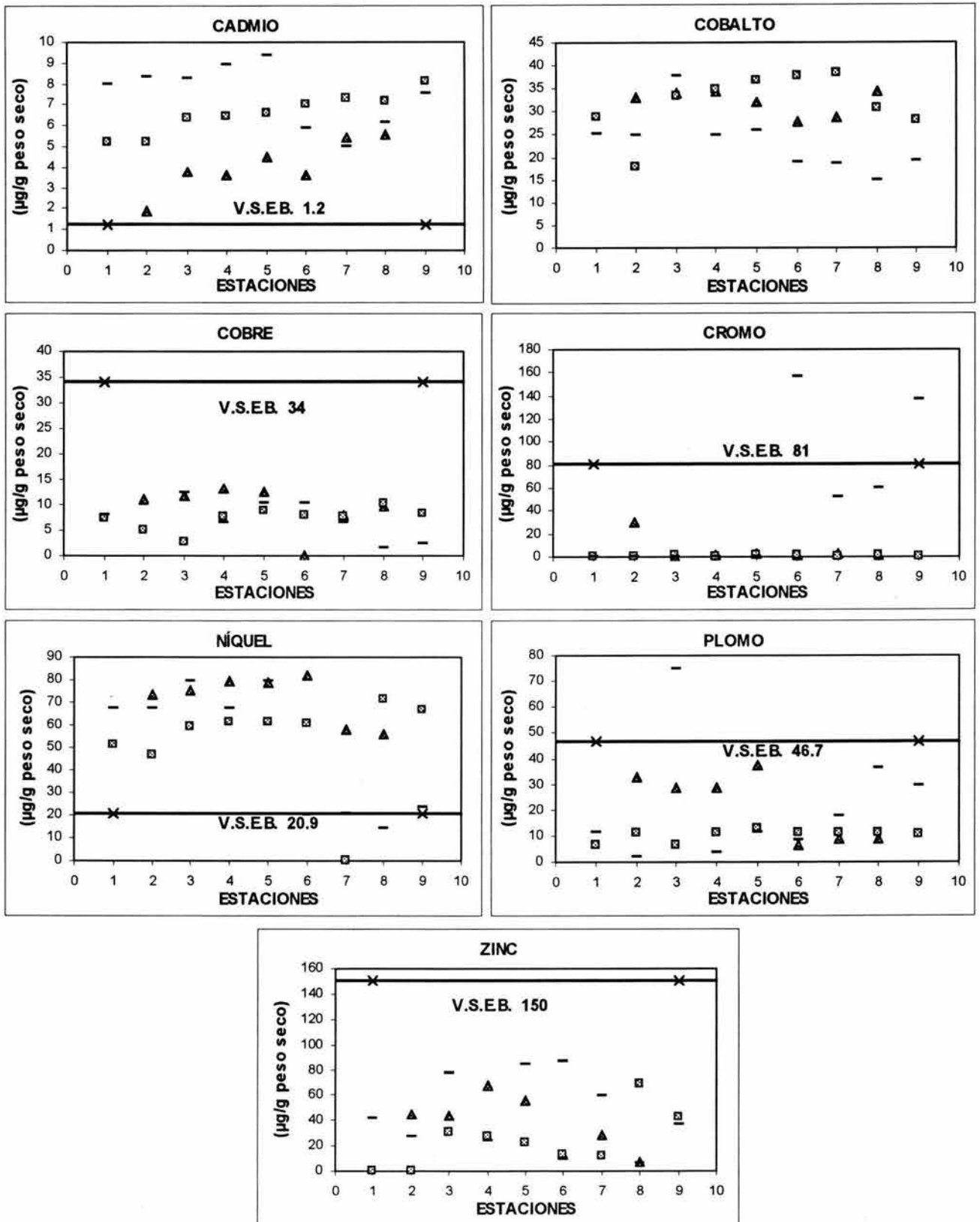


Fig. 14 Concentración promedio de metales totales en sedimento de la Laguna de Tamiahua, Ver., comparada con los valores que en sedimentos que producen efectos biológicos (V.S.E.B.)

— Nortes, ▲ Secas

Metales biodisponibles.

En la Tabla 60, 61 y 62 se presentan los valores de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de metales biodisponibles en sedimento superficial de la Laguna de Tamiahua.

Tabla 60. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. NORTES (noviembre, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	2.0	<L.D.	<L.D.	0.99	7.86	8.56
2	<L.D.	2.7	<L.D.	<L.D.	0.96	<L.D.	8.27
3	<L.D.	4.1	<L.D.	*****	2.42	9.48	9.98
4	<L.D.	4.0	<L.D.	<L.D.	1.03	<L.D.	3.43
5	<L.D.	5.2	<L.D.	*****	2.10	9.78	9.73
6	<L.D.	2.7	0.06	2.44	2.50	4.74	6.79
7	1.95	4.8	1.35	7.24	5.75	4.73	7.02
8	2.33	3.6	<L.D.	6.35	1.14	4.38	<L.D.
9	2.93	5.5	<L.D.	4.13	6.36	4.03	6.35
Promedio	2.40±0.5	3.90±1.	0.70±0.9	5.04±2.2	2.58±2.1	6.43±2.5	7.52±2.1
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.D.- Límite de Detección.

***** no se tiene el dato.

Tabla 61. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. LLUVIAS (septiembre, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
1	<L.D.	1.64	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
2	<L.D.	2.19	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
3	<L.D.	3.47	<L.D.	<L.D.	0.13	0.32	<L.D.
4	<L.D.	4.20	<L.D.	<L.D.	1.06	2.24	<L.D.
5	<L.D.	5.08	<L.D.	<L.D.	0.92	1.94	<L.D.
6	<L.D.	6.44	<L.D.	<L.D.	1.96	0.76	<L.D.
7	<L.D.	6.44	0.04	<L.D.	0.85	2.98	<L.D.
8	<L.D.	1.35	<L.D.	<L.D.	1.13	8.60	7.16
9	<L.D.	1.50	<L.D.	<L.D.	0.88	3.74	8.94
Promedio	<L.D.	3.59±2.1	0.04	<L.D.	0.99±0.5	2.94±2.8	8.05±1.3
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.D.- Límite de Detección.

Tabla 62. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE METALES BIODISPONIBLES EN SEDIMENTO ($\mu\text{g g}^{-1}$) DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. SECAS (junio-julio, 1999)							
Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
2	<L.D.	4.94	0.40	0.26	2.14	8.01	5.02
3	<L.D.	6.11	0.34	<L.D.	3.03	10.22	5.73
4	<L.D.	6.66	<L.D.	<L.D.	3.25	10.96	6.85
5	<L.D.	7.06	<L.D.	<L.D.	2.43	13.18	23.00
6	1.50	7.39	12.59	<L.D.	9.91	6.38	11.04
7	<L.D.	1.20	<L.D.	<L.D.	0.78	1.50	2.87
8	<L.D.	1.71	<L.D.	<L.D.	0.06	0.61	<L.D.
Promedio	1.50	5.01±2.6	4.44±7.1	0.26	3.08±3.2	7.27±4.8	9.09±7.3
L.D.*	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

L.D.- Límite de Detección.

Las concentraciones promedio de metales biodisponibles en sedimento por muestreo y el promedio total para Tamiahua se registran en la Tabla 63:

Tabla 63. Concentraciones promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metales biodisponibles en sedimento de la Laguna de Tamiahua, Ver.							
Muestreo	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Nortes	2.40±0.5	3.90±1.2	0.70±0.9	5.04±2.2	2.58±2.1	6.43±2.5	7.52±2.1
Lluvias	<L.D.	3.59±2.1	0.04	<L.D.	0.99±0.5	2.94±2.8	8.05±1.3
Secas	1.50	5.01±2.6	4.44±7.1	0.26	3.08±3.2	7.27±4.8	9.09±7.3
Promedio	2.18±0.6	4.10±2.0	2.46±5.0	4.08±2.8	2.25±2.3	5.54±3.8	8.17±4.5

En función de las concentraciones promedio, los metales se encontraron en el siguiente orden (Tabla 64):

Tabla 64. Secuencia de metales biodisponibles en sedimento de la Laguna de Tamiahua, Ver.	
Nortes	Zn>Pb>Cr>Co>Ni>Cd>Cu
Lluvias	Zn>Co>Pb>Ni>Cu>Cd=Cr
Secas	Zn>Pb>Co>Cu>Ni>Cd>Cr
Promedio	Zn>Pb>Co>Cr>Cu>Ni>Cd

En Tamiahua se encontró al zinc en el primer lugar en las tres épocas de muestreo, en el segundo y tercer lugar se presentaron el plomo y el cobalto, y el cadmio y cromo en el sexto y séptimo, con variaciones en cada época de muestreo. El promedio por época de muestreo baja en la época de lluvias, excepto para el zinc. El muestreo realizado se hizo después de las fuertes inundaciones que se registraron ese año, y que se reflejan en los datos obtenidos, aunque no sucede lo mismo con las concentraciones encontradas para metales totales.

Los valores de concentración máximos y mínimos ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de metales biodisponibles encontrados en sedimentos por cuerpo lagunar, se presentan en la Tabla 65:

Tabla 65. Concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) máximas y mínimas de metales biodisponibles en sedimento de la Laguna de Tamiahua, Ver.						
Metal	NORTES		LLUVIAS		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	2.93(9)	<L.D.(1-6)	<L.D.	<L.D.	1.50(6)	<L.D.(2-5, 7,8)
Co	5.56(9)	2.08(1)	6.44(6,7)	1.35(8)	7.39(6)	1.20(7)
Cu	1.35(7)	<L.D.(1-4,8,9)	0.04(7)	<L.D.(1-6,8,9)	12.59(6)	<L.D.(4,5,7,8)
Cr	7.24(7)	<L.D.(1,2,4)	<L.D.	<L.D.	0.26(1)	<L.D.(3-8)
Ni	6.36(9)	0.96(2)	1.96(6)	<L.D.(1,2)	9.91(6)	0.06(8)
Pb	9.78(5)	<L.D.(2,4)	8.60(8)	<L.D.(1,2)	13.18(5)	0.61(8)
Zn	9.98(3)	<L.D.(8)	8.94(9)	<L.D.(1-7)	23.00(5)	<L.D.(8)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.

Entre paréntesis se señala número de estación.

Las estaciones con mayor frecuencia de valores máximos de concentración fueron la 6 (Boca Cucharas) registrados básicamente en la época de secas, la 7 (Punta Tancochin) y la 9 (Boca Corazones). Las estaciones 6 y 7, pertenecen al sitio 2 (en contacto con otros cuerpos de agua) áreas que la SARH (1981) señala como contaminadas, y la 9 al sitio 1 (con influencia marina), Botello *et al.* (1994) registra la presencia de sedimentos tóxicos en las áreas correspondientes a las estaciones 6 y 9, lo que coincide con lo que reporta García (1969) y la S.R.H. (1972). Estas estaciones tienen contacto con el mar o con la desembocadura de ríos o esteros, que pueden estar llevando metales asociados a sedimento hacia éstos puntos, de hecho la estación 6 registró los valores más altos de carbono orgánico en las tres épocas de muestreo (Tabla 74).

Los valores máximos en la época de nortes se presentan hacia el sur de la laguna; en la época de lluvias se distribuyen hacia la costa oeste de la laguna, que podría deberse al acarreo de la corriente en dirección sur, al oeste de la Isla Juan A. Ramírez (Botello *et al.*, 1994). En la época de secas se concentran en la zona central, de acuerdo con estos autores en esta zona (frente a Boca de Cucharas) no hay circulación evidente, lo que posibilita el depósito de sustancias tóxicas.

Los valores mínimos de concentración se registraron en todas las estaciones, con excepción de la estación 9 zona que al igual que el centro de la laguna se reportaron sedimentos tóxicos (García, 1969; S.R.H., 1972; Botello *et al.*, 1994). En la época de nortes y lluvias se aprecia una tendencia a encontrar los valores más bajos de concentración al norte de la laguna, que coincide con lo que señala la SARH (1981) como el área menos contaminada. En la época de secas hacia el sur de la laguna. La estación del Estero Tancochín (7) no registra valores mínimos, la SARH (1981) señala esa zona como contaminada por el acarreo de contaminantes del estero hacia la laguna.

Si se analizan los resultados de los ANOVA ninguno de los valores encontrados para la fracción biodisponible resultaron significativos en relación con la época o sitio de muestreo

(Tabla 72), la biodisponibilidad de cualquier contaminante en aguas estuarinas depende de procesos biológicos, químicos y físicos que también modulan sus concentraciones (Kennish, 1992).

METALES EN ORGANISMOS.

En la Tabla 66 se presentan las tallas y pesos mínimos, máximos y promedio de ostión (*Crassostrea virginica*) de la Laguna de Tamiahua.

L. Tamiahua		Talla (mm)			Peso húmedo (g)		
Est.	Muestreo	mínima	máxima	promedio	Mínima	Máxima	promedio
3	Nortes	30.0	100.0	59.4±13.8	0.5	7.9	2.8±1.5
5	Nortes	40.0	100.0	71.9±12.7	1.8	19.7	5.5±2.8
6	Nortes	25.0	90.0	55.4±13.5	0.6	5.0	2.5±1.1
7	Nortes	30.0	78.0	50.6±11.7	0.8	8.3	2.9±1.9
8	Nortes	25.0	70.0	37.1±9.8	0.2	6.7	1.7±1.4
3	Secas	25.0	46.0	34.4±5.8	1.0	2.0	1.3±0.5
4	Secas	30.0	50.0	35.4±6.8	1.0	3.0	1.5±0.7
6	Secas	25.0	45.0	35.0±5.6	1.0	2.0	1.2±0.4
8	Secas	35.0	62.0	48.1±8.8	1.0	5.0	2.4±1.3
9	Secas	32.0	70.0	44.9±9.2	1.0	7.0	2.2±1.2

Para el ostión la talla mínima es de 25 mm, la máxima de 100 mm se registró en la época de nortes, lo anterior contrasta con el valor más bajo de peso registrado en la de nortes; los valores de peso promedio por estación no fueron muy altos, con excepción de la estación 5.

En las Tablas 67 y 68 se presentaron las concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) de metales determinadas en organismos de la laguna de Tamiahua en dos épocas de muestreo:

Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
3	9.23	34.93	206.4	29.41	11.10	19.45	155.96
5	9.30	36.50	154.7	29.40	9.23	20.30	10.03
6	10.10	37.56	196.0	29.25	10.19	22.02	104.22
7	6.64	39.16	244.8	31.62	9.49	17.73	151.59
8	7.68	39.69	169.5	29.88	5.85	16.87	150.31
Promedio	8.59±1.4	37.57±1.9	194.31±34.	29.91±1.0	9.17±2.0	19.27±2.0	114.42±62.0
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

Level of Concern.- niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles. F.A.O. (Nauen, 1983).

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible.

Estación	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Níquel	Plomo	Zinc
3	4.87	44.83	272.01	41.03	7.78	25.59	239.78
4	12.13	61.32	158.78	56.15	8.00	37.03	268.40
6	3.97	37.45	194.21	33.33	5.90	18.46	177.70
8	3.55	32.54	109.32	27.52	4.13	17.73	147.22
9	5.69	33.31	318.44	28.76	4.48	19.01	163.27
Promedio	6.04±3.5	41.89±11.9	210.55±84.6	37.36±11.8	6.06±1.8	23.56±8.2	199.27±52.2
L.C.	3.7	ne	32.5*	13	80	1.7	718*
NOM	0.5					1.0	
L.D.	0.236	0.106	0.034	0.034	0.122	0.119	0.002

Level of Concern.- niveles críticos para consumo de moluscos bivalvos (FDA, 1993).

*Límites máximos permisibles. F.A.O. (Nauen, 1983).

NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995)

ne=no existe información disponible.

El promedio de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco) por época de muestreo y el total para la laguna de Tamiahua se registra en la Tabla 69:

Muestreo	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
Nortes	8.59±1.4	37.57±1.9	194.31±34.9	29.91±1.0	9.17±2.0	19.27±2.0	114.42±62.0
Secas	6.04±3.5	41.89±11.9	210.55±84.6	37.36±11.8	6.06±1.8	23.56±8.2	199.27±52.2
Promedio	7.32±2.9	39.73±8.4	202.43±61.6	33.64±8.8	7.62±2.4	21.42±6.0	156.85±70.1

En función de las concentraciones promedio, los metales se encontraron en el siguiente orden (Tabla 70):

Nortes	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Secas	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Promedio	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd

En la tendencia, el cobre y el zinc ocupan el primero y segundo lugar en la secuencia, con valores de concentración que resultaron mucho más elevados que para el resto de los metales. La secuencia promedio en las dos épocas de muestreo y el promedio total en la laguna de Tamiahua fueron idénticas. Los promedios de concentración del cadmio fueron los más bajos, pero el 90% de los valores determinados estuvieron por encima del límite que marca la FDA (1993) y de la NOM (D.O.F., 1995).

Los valores máximos y mínimos de concentración encontrados para ostión, en las dos épocas de muestreo se presentan en la Tabla 71:

Tabla 71. Concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$) máximas y mínimas de metales en ostión de la Laguna de Tamiahua, Ver.				
Metal	NORTES		SECAS	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Cd	10.10(6)	7.68(8)	12.13(4)	3.55(8)
Co	39.69(8)	34.93(3)	61.32(4)	32.54(8)
Cu	244.84(7)	154.72(5)	318.44(9)	109.32(8)
Cr	31.62(7)	29.25(6)	56.15(4)	27.52(8)
Ni	11.10(3)	5.85(8)	8.00(4)	4.13(8)
Pb	22.02(6)	16.87(8)	37.03(4)	17.73(8)
Zn	155.96(3)	10.03(5)	268.40(4)	147.22(8)

Máx. y Mín.- valor máximo y mínimo.
Entre paréntesis se señala número de estación.

La estación que presentó la mayor frecuencia de valores máximos de concentración de metales fue la estación 4 (Cabo Rojito), correspondiente al sitio 3 (estaciones interiores), dichos valores se registraron en la época de secas, en la cual se esperarían concentraciones mayores por efecto de la evaporación, y probablemente por el acarreo de materiales con metales hacia ese punto de la laguna, y que el ostión incorpora con el alimento que toma por filtración. En la época de nortes los valores máximos fueron más frecuentes hacia el sur de la laguna y en la de secas hacia el centro de la misma.

Cabe señalar que, próxima a la estación 4, se encuentra una de las plataformas de perforación que realizó PEMEX en los años 60 y cuyos lodos de perforación provocaron una mortandad masiva de ostión hacia 1965-1966 (García, 1969; S.R.H., 1972); en relación con el cobre, la estación 9 recibe las descargas de la ciudad de Tamiahua (S.A.R.H., 1981).

La mayor frecuencia de valores mínimos se registraron en la estación 8. Estero Tampache, perteneciente al sitio 1 (con la influencia marina). En la época de nortes dichos valores se distribuyeron prácticamente de la estación 5 (Isla del Toro) a la 8 (Estero Tampache), que corresponde a la mitad sur de la laguna. En la época de secas todos los valores mínimos se registraron en la estación 8 (sitio 1), lo que puede deberse a la influencia de la corriente que corre en la costa oeste de la Isla del Ídolo con dirección sur en la época de lluvias (Botello *et al.*, 1994).

De acuerdo con los resultados de los ANOVA sólo las concentraciones de níquel en ostión resultaron significativas en relación, con la época de muestreo y el sitio (Tablas 72, 73); el promedio de concentración es mayor en la época de nortes y en los sitios 2 (en contacto con otros cuerpos de agua) y 3 (interiores); el resultado obtenido por época podría deberse al efecto de los vientos del norte que permiten la resuspensión de materia asociada a metales. Estos sitios se ubican en la zona centro y sur de la laguna, que resulta un área de mayor contaminación (La Laja, Cucharas, Tancochín y Tamiahua), debido probablemente a los

lodos de perforación que se encuentran en la periferia de las dos plataformas de perforación de PEMEX, Catán I y II, (García, 1969; S.R.H., 1972) y por las descargas de la ciudad de Tamiahua (SARH, 1981) que influye en la concentración encontrada en ostión.

De acuerdo con la Figura 16, se puede observar que las concentraciones de cobre, cromo y plomo se ubicaron por encima de los límites de la FAO, FDA (1993) y la NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995); las concentraciones cadmio también sobrepasaron el límite que marca la FDA, excepto por un valor ($3.5 \mu\text{g g}^{-1}$ en la estación 8), e igualmente muy por encima de lo que marca la NOM antes citada. En el caso del níquel y zinc todos los valores de concentración que estuvieron por debajo del límite que marca la FDA y la FAO (Nauen, 1983) respectivamente.

El cobre es un elemento esencial que se encuentra en la corteza terrestre a una concentración promedio de $50 \mu\text{g g}^{-1}$. A diferencia de éste, el plomo no es esencial, y aún cuando se encuentra en la naturaleza, las concentraciones altas que se detectan generalmente tienen su origen en las actividades antrópicas (ATSDR, 1990 y 1999), lo anterior es importante debido a que las concentraciones encontradas en ostión estuvieron por encima de los límites antes señalados.

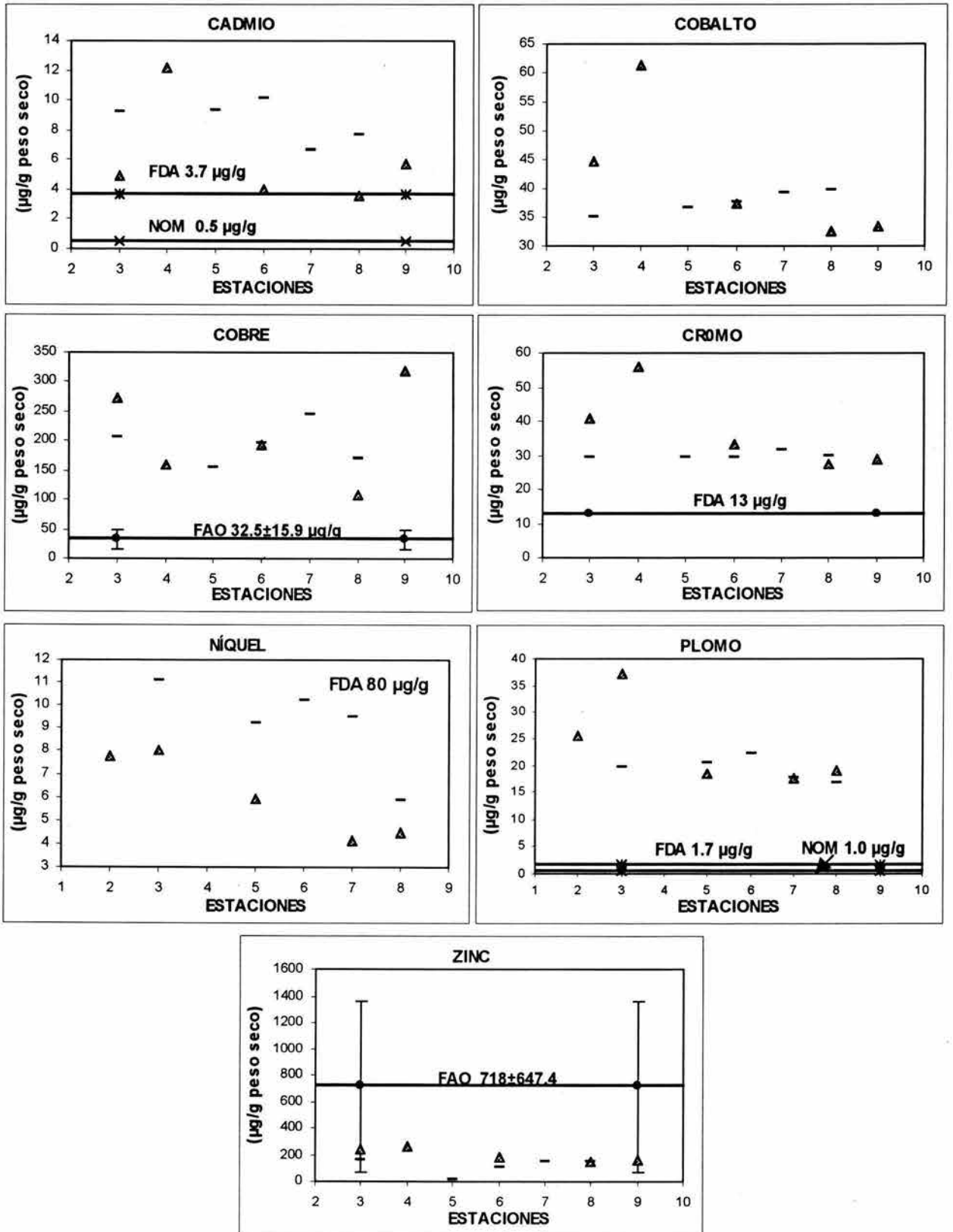


Fig. 16 Concentración promedio de metales en ostión de la Laguna de Tamiahua, Ver., comparado con la NOM y los límites de la FDA y FAO

— Nortes, ▲ Secas

Se graficaron las tallas y pesos promedio de las tres épocas de muestreo contra la concentración promedio de metales en ostión, teniendo como resultado que la única relación que resulta significativa es la que presentó el zinc para talla con un índice de determinación de 0.7213 y un valor de $\alpha=0.001$ y para el peso el índice fue de 0.8604 con un valor de $\alpha=1.42E-05$, por lo que se puede asegurar que la concentración promedio de zinc en ostión tiene una relación directa con la talla/peso (Figura 17), resultado lógico si se considera que es un elemento esencial y uno de los más comunes en la corteza terrestre (ATSDR, 1994). El valor de $R= -0.85$ y -0.86 respectivamente, que implica una relación inversamente proporcional entre la concentración del metal en ostión en relación con su talla o peso.

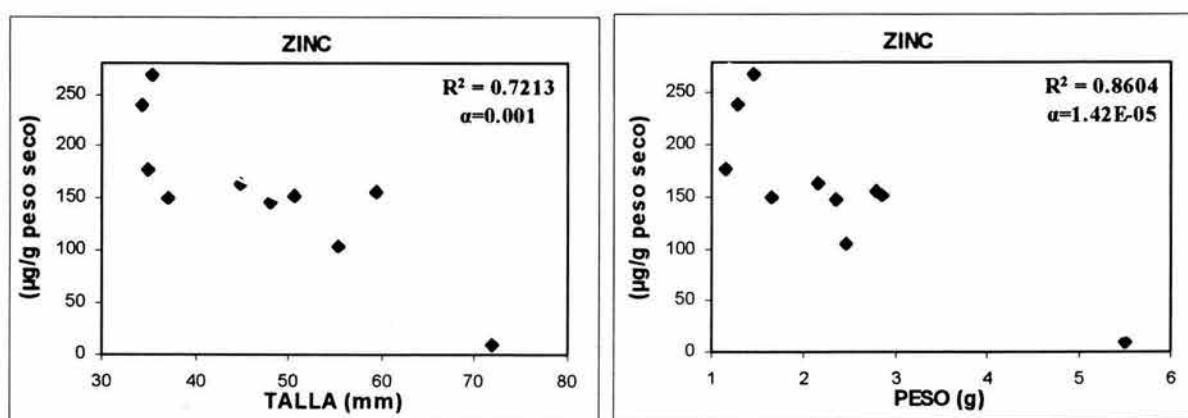


Fig. 17 Concentración promedio de zinc vs. Talla y peso de ostión de la Laguna de Tamiahua, Ver.

En la Figura 15, se comparan los valores de concentración de metales en ostión y sedimento (biodisponibles y totales), de las concentraciones de cadmio total, biodisponible y en ostión, se observó que todos los valores de la fracción biodisponible están por debajo del límite de detección de $0.236 \mu\text{g g}^{-1}$, y los valores de concentración en ostión fueron ligeramente más altos que los de cadmio total, diferencia que se advierte obvia en las estaciones 4 y 5 (Cabo Rojito e Isla del Toro).

En cuanto al cobalto, las concentraciones promedio para ostión fueron más altos que el cobalto total, ambos están muy por encima de los reportados para la fracción biodisponible. El valor más alto que se observó en ostión corresponde a la estación 4.

En el cobre predominan los valores altos en ostión, que contrastan con los valores obtenidos para cobre total y los que se obtuvieron para la fracción biodisponible que se ubicó por debajo del límite de detección de $0.034 \mu\text{g g}^{-1}$; el valor más alto lo registró la estación 9 (Boca de Corazones). El cromo se comportó igual que el cobre con la diferencia que en la estación 9 se presentó el valor de concentración más alto de cromo total, por encima del encontrado en ostión.

Para el níquel, predominan los valores de concentración de níquel total por encima de los encontrados en ostión, lo que indica que sólo una parte está disponible para que el organismo lo asimile; el valor máximo se registró en la estación 7 (Punta Tancochín).

El plomo presentó, en general, valores más altos en ostión que los registrados para plomo total, excepto en la estación 3 (La Laja), que es el valor más alto de los tres. En relación con el zinc, los valores encontrados en ostión fueron mayores que los totales y los biodisponibles, el valor máximo se registró en la estación 9. En todos los metales la concentración de metales en ostión fue mayor que la encontrada en la fracción biodisponible, lo que indica un proceso de bioacumulación en los organismos muestreados por su estrecha interacción con el sedimento (Villanueva y Botello, 1998).

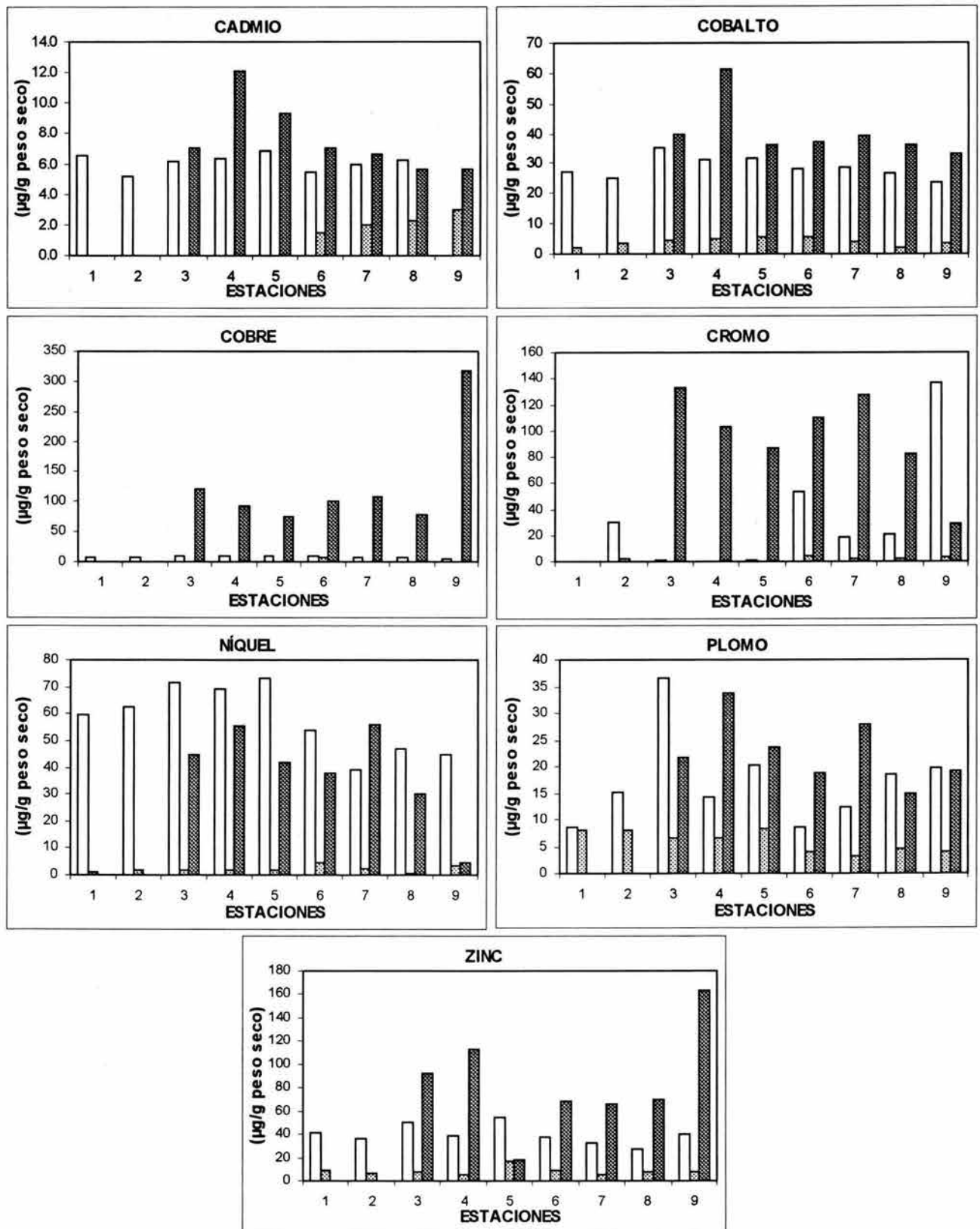


Fig. 15 Concentración promedio de metales totales y biodisponibles en sedimento y ostión de la Laguna de Tamiahua, Ver.

□ Metales totales ▨ Metales biodisponibles ■ Metales en ostión

En la Tabla 72 se sintetizan los resultados de los análisis estadísticos obtenidos para metales en organismos y en sedimento (biodisponibles y totales).

Tabla 72. RESUMEN DE ANOVA CUADRO LATINO PARA LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER.			
METAL	N	P	
		ÉPOCA	SITIO
cobalto biodisponible	25	0.419ns	0.253ns
cobre biodisponible	6	0.219ns	0.206ns
cromo biodisponible	x	x	x
níquel biodisponible	23	0.261ns	0.305ns
plomo biodisponible	21	0.069ns	0.087ns
zinc biodisponible	16	0.917ns	0.771ns
cadmio total	x	x	x
cobalto total	25	*0.007	0.339ns
cobre total	24	0.057ns	0.275ns
cromo total	17	*0.000	0.567ns
níquel total ¹	Análisis no paramétrico		
plomo total	25	0.227ns	0.441ns
zinc total	23	0.401ns	0.612ns
cadmio ostión	10	0.104ns	0.345ns
cobalto ostión	10	0.368ns	0.342ns
cobre ostión	10	0.752ns	0.908ns
cromo ostión	10	0.109ns	0.162ns
níquel ostión	10	*0.001	*0.001
plomo ostión	10	0.187ns	0.157ns
zinc ostión ¹	Análisis no paramétrico		

*p<0.05 Significativo. ns= no significativo. x= <L.D.

1. Análisis no paramétrico Kruskal-Wallis. N= número muestra

Del cuadro anterior se puede observar que, para la laguna de Tamiahua, la época de muestreo ejerce una mayor influencia sobre la concentración de algunos metales comparado con el sitio. Los resultados de los ANOVA muestran que para cobalto y cromo total la época tiene una relación directa con la concentración encontrada, y la concentración de níquel en ostión se ve influenciada tanto por la época como por el sitio.

En la Tabla 73, se registraron los valores promedio de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) por época de muestreo, para aquellos metales que cumplen con la regla de decisión de una $P<0.05$:

Tabla 73. Resumen de ANOVA por época de muestreo para la Laguna de Tamiahua, Ver.				
METAL	N	LI	S	p<0.05
Co total	23.30±6.7	31.88±6.5	32.21±2.7	0.007
Cr total	101.21±52.9	0.69±0.4	6.53±11.7	0
Ni ostión	9.17±2.0		6.06±1.8	0.001

Los valores promedio para cobalto total, durante las épocas de lluvias y secas, fueron semejantes, y fueron mayores comparados con el que se registró en la época de nortes, la concentración promedio más alta se presentó en la época de secas; a diferencia del cromo, que presentó una concentración promedio mayor en la época de nortes, en relación con los observados en lluvias y secas. En este caso, el valor promedio más pequeño se presentó en la época de lluvias, lo que podría deberse a una dilución por el aporte de agua dulce; el promedio de concentración de níquel en ostión registró el valor más alto en la época de nortes, siendo los vientos del norte el agente que causa la circulación más activa de las masas de agua (S.R.H., 1972).

En cuanto a los promedios de concentración de níquel en ostión, por sitio, se tienen para el sitio 1 (estaciones con influencia marina) $4.82 \mu\text{g g}^{-1} \pm 0.91$, el 2 (estaciones en contacto con otros cuerpos de agua) $8.53 \mu\text{g g}^{-1} \pm 2.30$ y 3 (estaciones interiores) $9.03 \mu\text{g g}^{-1} \pm 1.52$, con una p de 0.001. Como se puede ver el valor máximo corresponde al sitio 3 (estaciones 1, 2, 3, 4 y 5), a pesar de que se la SARH (1981) reporta la zona norte de la laguna como el área menos contaminada.

MATERIA ORGÁNICA.

En la Tabla 74, se presentan los porcentajes de carbono orgánico encontrados en las tres épocas en el sedimento de la Laguna de Tamiahua:

Est.	Nortes	Lluvias	Secas
1	1.78	0.86	
2	0.57	0.27	1.62
3	1.66	2.84	1.06
4	0.67	1.92	1.57
5	2.06	2.57	1.45
6	2.15	2.07	2.01
7	1.54	1.86	2.01
8	0.54	1.74	1.48
9	1.18	1.12	
Prom.	1.35±0.6	1.69±0.8	1.60±0.3

El valor promedio más bajo se presentó en la época de lluvias (0.27%) en la estación 2 (La Loza); y el máximo de 2.84% (La Laja que corresponde a la estación 3). Los valores promedio más bajos por muestreo fueron, 0.54% (Estero Tampache, estación 8); 0.27% (estación 2) y 1.06% (estación 3) correspondientes a la época de nortes, lluvias y secas respectivamente; los valores promedio más altos por muestreo fueron, 2.15% (Boca Cucharas, estación 6); 2.84% (estación 3) y 2.01% (estaciones 6 y 7 –Estero Tancochín-).

De los porcentajes de materia orgánica en sedimentos de la Laguna de Tamiahua se puede observar que en la época de nortes, con excepción de las estaciones de La Loza (2), Cabo Rojito (4) y Estero Tampache (8), el resto de estaciones varía de 1.18 a 2.15 (estación 6 Boca Cucharas); en la época de lluvias las estaciones de Punta Mangle (1) y La Loza (2) fueron las que presentaron los valores más bajos de materia orgánica, el resto varía entre 1.12 y 2.84 (Estaciones 9 y 3, Boca Corazones y La Laja); en la época de secas la estación 3 fue la que presentó el valor mínimo y el resto varía de 1.45 a 2.01 (Estación 5). Isla del Toro, 6 Boca Cucharas y 7 Estero Tancochín).

Se graficaron los porcentajes de carbono orgánico contra los de metales biodisponibles y totales en sedimento para las tres épocas de muestreo. En ambos casos no se encontró una correlación entre la concentración de metales y porcentaje de carbono orgánico para ninguno de los metales estudiados, lo que resulta contradictorio si se considera que los metales se asocian a materia orgánica (Libes, 1992).

ANÁLISIS GLOBAL.

De acuerdo con Villanueva y Botello (1998), en un análisis de investigaciones realizadas por más de 25 años, se demuestra que los problemas más agudos de contaminación por metales se dan en cuerpos de agua semicerrados, particularmente en bahías, estuarios y lagunas costeras, en donde los metales pueden estar disponibles en grandes cantidades, dependiendo de la naturaleza de los sedimentos y de las características fisicoquímicas del agua.

Es difícil evaluar la concentración de metales en los ecosistemas estuarinos, costeros y el mar, ya que las concentraciones de éstos, en aguas no contaminadas, varían. Los efectos que tienen los metales en el medio acuático son complejos, pues se desconocen los factores que regulan su destino final (Mandelli, 1979).

Si bien es cierto, que todos los metales estudiados se encuentran en la naturaleza, y algunos son esenciales para la vida, las concentraciones a las que se encuentran en el Golfo de México, a diferencia del noroeste del Pacífico Mexicano, proceden de la actividad antrópica; la mayoría de los metales son ampliamente usados por diversas industrias, básicamente refinerías, productoras de fertilizantes, minería y metalurgia, adicionalmente los efluentes domésticos ricos en metales, descargan en los ríos; el papel de éstos en el transporte de materiales continentales a los océanos es considerable comparado con los aportes de glaciares y de los vientos, y sólo una pequeña fracción de los metales en disolución abandona la zona estuarina (Mandelli, 1979).

La contaminación de cuerpos de agua y el consumo de pescados y mariscos que han crecido en aguas contaminadas afectan al hombre. Una de las principales características de los metales, en el medio acuático, es que los organismos pueden almacenarlos en grandes concentraciones en sus tejidos, lo que se conoce como bioacumulación, que induce a un incremento en los niveles tróficos superiores mediante un proceso de biomagnificación; de ahí que en océanos y áreas costeras los organismos bentónicos sean los más afectados por su estrecha relación con el sedimento (Villanueva y Botello, 1998).

En las Tablas 75, 76 y 77 se presentan las concentraciones obtenidas en estudios realizados en ostión y sedimento (total y biodisponible) para cuerpos de agua ubicados en el Golfo de México, con el fin de compararlas con las que se encontraron en este estudio (en negritas).

PROMEDIOS DE CONCENTRACIÓN Y TENDENCIAS.

ORGANISMOS.

En la Tabla 75 se presenta la concentración promedio y desviación estándar de metales en *Crassostrea virginica*.

Tabla 75. Concentración promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) de metales en ostión de áreas costeras del Golfo de México.								
LOCALIDAD	Cd	Co	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	REFERENCIAS
L. de San Andrés ¹	2.55±0.33		48.28±26.99		3.40±1.13	5.85±1.51	3184.48±361.67	Vázquez <i>et al.</i> , 1990
L. de Tamiahua²	7.32±2.85	39.73±8.36	202.43±61.60	33.64±8.80	7.62±2.43	21.42±6.05	156.85±70.15	Este estudio
L. Tampamachoco ²	2.06±1.20			0.89±0.59		1.86±0.95		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Alvarado²	4.61±4.71	8.28±8.61	278.00±264.30	10.60±3.93	4.22±3.91	9.05±6.84	145.82±62.86	Este estudio
L. de Mandinga ²	1.54±0.98			2.24±2.28		3.03±3.47		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Mandinga ²	3.13±1.25	5.32±1.75	131.62±50.08	3.32±3.58	5.77±2.46	11.55±0.33	502.00±270.14	Hernández <i>et al.</i> , 1995
L. de Mandinga²	2.94±0.97	21.43±5.66	165.75±133.69	21.06±2.69	3.64±0.93	13.17±1.92	159.81±33.18	Este estudio
L. La Mancha ²	1.34±0.28	4.80±2.79	282.77±174.59	5.13±2.60	2.88±1.56	3.24±0.55	743.38±89.90	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
L. El Llano ²	1.11±0.06	3.49±2.99	852.62±1196.55	4.58±1.65	4.13±0.91	2.23±0.43	569.83±233.52	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
L. del Ostión ²	ND	35.80	38.00	ND	84.00	ND	1440.00	Villanueva <i>et al.</i> , 1988
L. Machona ³						0.23±0.14		Pérez-Zapata 1981
L. de Mecoacan ³						0.24±0.08		Pérez-Zapata 1981
L. del Carmen ³	7.09±1.03			4.60±2.17		3.04±3.01		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Atasta ⁴	1.08±2.18			3.77±2.18		1.52±0.98		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Términos ⁴	5.33±1.24	3.04±0.11	153.62±14.53	4.02±1.13	22.94±4.12	2.19±0.99	1101.24±95.09	Hicks 1976
L. de Términos ⁴	3.70±1.32	3.51±2.23	157.70	6.70±4.57	11.15±3.51	5.80±3.11	679.40±275.50	Ponce 1988
L. de Términos ⁴	4.17±1.74		157.70±66.44			8.84±4.68	620.44±268.31	Vázquez y Sharma 1996
P.p. SMI-229-R	5.4±0.7				1.0±0.3	0.40±0.2		Trefry <i>et al.</i> , 1995
P.p. SMI-236-D	6.0±1.0				1.3±0.1	0.60±0.02		Trefry <i>et al.</i> , 1995
Golfo de México	4.1±2.4				1.8±1.6	0.60±0.9		Presley <i>et al.</i> , 1990

1. Tamaulipas; 2. Veracruz; 3. Tabasco; 4. Campeche.

P.p.-Plataformas petroleras frente a Texas y Louisiana.

Villanueva *et al.*, 1998 y Trefry *et al.*, 1995.

METALES TOTALES Y BIODISPONIBLES.

En la Tabla 76 se registran las concentraciones promedio y desviación estándar para metales en sedimento.

Tabla 76. Concentraciones promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) para metales en sedimento de áreas costeras del Golfo de México							REFERENCIAS
LOCALIDAD	Cd		Cr		Pb		
	Total	Biodisp.	Total	Biodisp.	Total	Biodisp.	
L. de Tamiahua ¹	6.21±1.86	2.18±0.61	26.40±49.04	4.08±2.84	17.35±15.85	5.54±3.84	Este estudio
L. de Tampamachoco ¹	0.098±0.091		9.55±4.20		3.94±3.01		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Alvarado ¹			159.73±168.07		29.94±7.43		Rosales <i>et al.</i> , 1986a
L. de Alvarado ¹	ND (<LD)	ND (<LD)	13.75±9.04	0.85±0.68	27.49±13.65	10.11±3.89	Este estudio
Río Papaloapan ¹			66.18±15.64		43.93±34.58		Rosales <i>et al.</i> , 1986b
L. de Mandinga ¹	0.015±0.029		7.43±8.32		3.34±3.25		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Mandinga ¹	1.09±0.58	0.80±0.65	21.92±10.14	0.96±0.62	55.15±24.43	11.60±1.89	Hernández <i>et al.</i> , 1995
L. de Mandinga ¹	0.89±0.96	ND (<LD)	14.75±9.76	2.36±1.21	29.56±5.40	5.54±0.76	Este estudio
L. de La Mancha ¹	1.47±0.51	0.41±0.31	49.75±16.65	4.43±0.48	81.20±11.14	21.40±12.12	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
L. El Llano ¹	1.35±0.50	0.35±0.25	36.24±13.81	5.22±2.21	78.76±24.00	13.15±9.37	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
L. Salada ¹	2.20±0.91	0.43±0.16	29.69±7.80	4.19±0.64	77.19±21.85	18.96±8.57	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
Río Blanco ¹	1.64±0.24	0.22±0.07	71.80±27.90	ND	32.50±8.11	2.40±1.27	Álvarez <i>et al.</i> , 1986
L. de Sontecomapan ¹	1.41±0.53	1.37±0.15	74.92±33.60	2.96±1.83	14.84±12.77	0.40±0.12	González <i>et al.</i> , 1994
Río Coatzacoalcos ¹	1.64±0.56	0.33±0.16	71.82±28.82	3.82±3.47	43.41±17.26	4.79±2.54	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1986
L. del Ostión ¹	ND	0.40±0.04	140.70±80.21	4.08±0.95	ND	ND	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1986
L. de las Ilusiones ²	ND				158.70±93.03		Valencia 1989
L. del Carmen ²	0.28±0.21		30.50±28.60		6.49±5.18		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Atasta ³	0.015±0.009		1.02±1.25		0.29±0.25		Rosas <i>et al.</i> , 1983
L. de Términos ³	1.39±0.35		47.20±29.90		33.96±18.28		Ponce 1988
P.p. SMI-236*	0.24				36.1		Trefry <i>et al.</i> , 1995
P.p. SMI-236**	0.16				24.5		Trefry <i>et al.</i> , 1995
P.p. HI-595*	0.80				77.9		Trefry <i>et al.</i> , 1995
P.p. HI-595**	0.12				23.5		Trefry <i>et al.</i> , 1995
Río Mississippi***	0.70				36.0		Trefry <i>et al.</i> , 1995

1. Veracruz; 2. Tabasco; 3. Campeche. * a 20 m de distancia y ** a 2000 m de distancia de la plataforma. *** Sedimento suspendido. Villanueva *et al.*, 1998 y Trefry *et al.*, 1995.

En la Tabla 77 se presentan las concentraciones promedio y desviación estándar para metales en sedimento.

LOCALIDAD	Co		Cu		Ni		Zn		REFERENCIAS
	Total	Biodisp.	Total	Biodisp.	Total	Biodisp.	Total	Biodisp.	
L. Madre ¹			1.6±0.2		3.0±0.3		4.0±0.3		Pulich 1980
L. de Tamiahua ²	28.88±7.00	4.10±1.97	8.31±3.21	2.46±4.99	59.18±20.37	2.25±2.29	39.98±24.66	8.17±4.55	Este estudio
L. de Alvarado ²	36.26±7.49		15.55±11.16		47.77±23.83			80.72±25.72	Rosales <i>et al.</i> , 1986a
L. de Alvarado ²	34.19±6.37	4.61±1.86	17.49±4.09	0.98±0.64	71.80±7.19	2.48±0.74	55.81±20.70	10.11±3.89	Este estudio
Río Papaloapan ²			21.94±9.26		48.93±5.71		64.35±11.25		Rosales <i>et al.</i> , 1986b
L. de Mandinga ²	31.06±6.20	5.69±1.51	29.84±23.28	4.01±2.12	26.29±7.97	3.68±1.40	47.88±17.92	4.82±4.73	Hernández <i>et al.</i> , 1995
L. de Mandinga ²	31.56±8.81	5.15±2.02	14.34±3.35	0.40±0.25	72.26±4.09	1.68±0.26	56.14±19.54	9.33±7.14	Este estudio
L. La Mancha ²	27.72±11.17	7.49±2.76	60.84±20.73	7.31±0.98	61.42±15.34	4.19±1.53	92.11±15.05	11.69±4.65	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
L. El Llano ²	25.91±8.14	7.17±0.96	70.99±17.62	9.57±4.62	49.74±23.58	4.61±1.01	86.97±17.19	9.89±3.88	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
L. Salada ²	32.41±12.24	8.73±2.39	52.29±24.54	7.35±2.09	37.74±20.58	4.55±1.27	107.95±25.21	16.09±3.87	Rodríguez <i>et al.</i> , 1996
Río Blanco ²	24.57±3.34	2.09±0.99	28.59±19.70		32.38±11.20	1.95±0.45	93.10±28.06	8.78±8.10	Álvarez <i>et al.</i> , 1986
L. de Sontecomapan ²	29.88±12.15	3.90±30.4	39.98±29.29	2.74±5.95	73.36±56.90	3.49±2.35	44.94±26.11	4.63±3.39	González <i>et al.</i> , 1994
Río Coatzacoalcos ²	21.63±5.58	3.66±1.39	25.66±12.53	0.44±0.35	34.76±13.16	2.59±1.14	85.65±37.50	18.32±11.99	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1986
L. del Ostión ²	35.80±16.80	8.82±4.94	39.90±26.70	0.37±0.08	50.70±18.63	3.44±2.04	62.10±21.70	8.11±3.77	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1986
Río Tonalá ³	25.60±19.60		22.30±15.30		98.40±77.47		66.50±48.90		Villanueva 1987
L. de las Ilusiones ³			46.60±26.50		58.90±12.60		227.10±141.60		Valencia 1989
L. de Términos ⁴	12.30±4.70		7.43±3.49		50.93±40.33		20.43±16.02		Ponce 1988
P.p. SMI-236*					26.9				Trefry <i>et al.</i> , 1995
P.p. SMI-236**					27.1				Trefry <i>et al.</i> , 1995
P.p. HI-595*					9.4				Trefry <i>et al.</i> , 1995
P.p. HI-595**					20.6				Trefry <i>et al.</i> , 1995
Río Mississippi***					41.0				Trefry <i>et al.</i> , 1995

1. Tamaulipas; 2. Veracruz; 3. Tabasco; 4. Campeche.

* a 20 m de distancia y ** a 2000 m de distancia de la plataforma.

*** Sedimento suspendido.

Villanueva *et al.*, 1998 y Trefry *et al.*, 1995.

Se graficaron las concentraciones de metales totales y ostión de las Tablas 75, 76 y 77 (Figura 16), señalando el promedio y desviación estándar de las concentraciones reportadas por los autores, sin incluir los resultados obtenidos en el presente estudio, las barras con un contorno más grueso corresponden a los resultados obtenidos en éste. Los números en el eje de las x corresponden a las siguientes localidades:

- 1 Alvarado
- 2 Atasta
- 3 Carmen
- 4 El Llano
- 5 Golfo de México
- 6 La Mancha
- 7 Laguna Madre
- 8 Las Ilusiones
- 9 Machona
- 10 Mandinga
- 11 Mecoacan
- 12 Ostión
- 13 P.p. HI-595*
- 14 P.p. HI-595**
- 15 P.p. SMI-236*
- 16 P.p. SMI-236**
- 17 P.p. SMI-229-R
- 18 P.p. SMI-236-D
- 19 Río Blanco
- 20 Río Coatzacoalcos
- 21 Río Mississippi
- 22 Río Papaloapan
- 23 Río Tonalá
- 24 Salada
- 25 San Andrés
- 26 Sontecomapan
- 27 Tamiahua
- 28 Tampamachoco
- 29 Términos

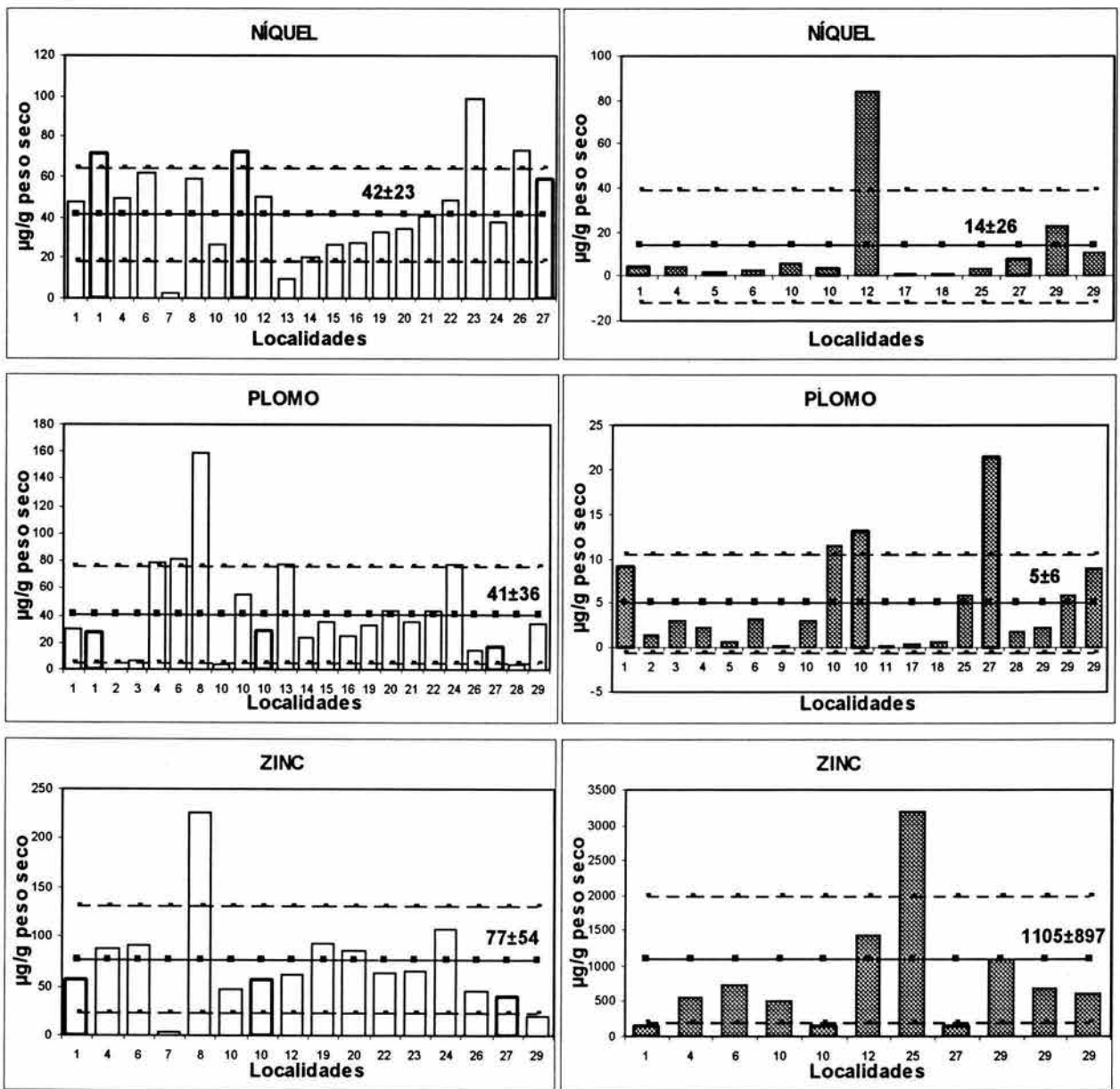


Fig. 16 Concentración de metales en diferentes cuerpos de agua del Golfo de México, comparada con el valor promedio y la desviación estándar

□ Metales totales

▨ Metales en ostión

Tomando como referencia el valor promedio de las concentraciones de metales totales en sedimento y ostión reportadas en los diferentes estudios, las que están por encima de este valor de referencia en el presente estudio son (Fig. 16): el cadmio en sedimento y ostión de Tamiahua y en ostión de Alvarado; el cobalto y níquel total en sedimento de Alvarado, Mandinga y Tamiahua (a diferencia del níquel en ostión cuyas concentraciones están por debajo del promedio), y cobalto en el ostión de Mandinga y Tamiahua. La concentración de cromo y plomo en ostión en las tres lagunas está muy por encima del promedio.

Se hicieron análisis de correlación múltiple entre las concentraciones de metales totales en sedimento, de las Tablas 76 y 77 (incluyendo las del presente trabajo), con el fin de determinar si existen correlaciones entre las concentraciones de los diferentes metales, y comparar con las asociaciones entre metales que se dan en la naturaleza y discernir el posible origen de los metales (geogenio o antrópico). La única correlación por encima del 75% se da entre cobre y plomo (81%), el mismo análisis se realizó con los datos de las tres lagunas en estudio y con los resultados por laguna y no se encontraron correlaciones significativas.

TENDENCIAS EN LAS LAGUNAS DE ALVARADO, MANDINGA Y TAMIAHUA.

Metales totales.

Para cadmio total la tendencia es: Tamiahua (6.21 ± 1.86) > Mandinga (0.89 ± 0.96) > Alvarado (<L.D.). En Tamiahua está por encima del V.S.E.B. de $1.2 \mu\text{g g}^{-1}$ (Long *et al.*, 1995). Para cromo total se tiene: Tamiahua (26.40 ± 49.04) > Mandinga (14.75 ± 9.76) > Alvarado (13.75 ± 9.04), estas concentraciones promedio están muy por debajo del V.S.E.B. de $81 \mu\text{g g}^{-1}$ (Long *et al.*, 1995).

La tendencia para plomo total en las tres lagunas es: Mandinga (29.56 ± 5.40) > Alvarado (27.49 ± 13.65) > Tamiahua (17.35 ± 15.85), que están por debajo de lo que reporta Long *et al.* (1995) de $46.7 \mu\text{g g}^{-1}$ como V.S.E.B. La de cobalto total es: Alvarado (34.19 ± 6.37) > Mandinga (31.56 ± 8.81) > Tamiahua (28.88 ± 7.00).

La tendencia para cobre total es: Alvarado (17.49 ± 4.09) > Mandinga (14.34 ± 3.35) > Tamiahua (8.31 ± 3.21), concentraciones que están por debajo del V.S.E.B. de $34 \mu\text{g g}^{-1}$ (Long *et al.*, 1995); la de níquel: Mandinga (72.26 ± 4.09) > Alvarado (71.80 ± 7.19) > Tamiahua (59.18 ± 20.37), que se ubicó por encima del V.S.E.B. de $20.9 \mu\text{g g}^{-1}$ (Long *et al.*, 1995). Para zinc total se tiene la siguiente tendencia: Mandinga (56.14 ± 19.54) > Alvarado (55.81 ± 20.70) > Tamiahua (39.98 ± 24.66), todas por debajo de $150 \mu\text{g g}^{-1}$ que reporta Long *et al.* (1995) como V.S.E.B.

Mandinga presenta concentraciones más altas de plomo, níquel y zinc totales en sedimento (tres de los siete metales estudiados) comparado con las obtenidas para Alvarado y en algunos casos Tamiahua. Esto se puede deber a que funciona como depósito de una zona industrial importante (refinerías, cementeras, fabricación de estructuras metálicas) ubicada en los municipios de Veracruz, Medellín, Jamapa, Boca del Río, Tlalixcoyan y Alvarado; y por otro lado, por el acarreo ocasionado por las lluvias y vientos del norte que influyen en el transporte de contaminantes, especialmente al inicio de la temporada de nortes (Hernández, 1994).

En la Tabla 78 se aprecian las tendencias en concentración de los metales totales para las tres lagunas, de acuerdo con el promedio general por laguna, Alvarado y Mandinga presentan la misma tendencia.

Tabla 78. Secuencia de metales en totales en sedimento de las tres lagunas	
ALVARADO	
Nortes	Ni>Zn>Co>Pb>Cr>Cu>Cd
Lluvias	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Secas	Zn>Ni>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
<i>Promedio</i>	<i>Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd</i>
MANDINGA	
Nortes	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Lluvias	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
Secas	Ni>Zn>Co>Pb>Cr>Cu>Cd
<i>Promedio</i>	<i>Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd</i>
TAMIAHUA	
Nortes	Cr>Zn>Ni>Co>Pb>Cu>Cd
Lluvias	Ni>Co>Zn>Pb>Cu>Cd>Cr
Secas	Ni>Zn>Co>Pb>Cu>Cr>Cd
<i>Promedio</i>	<i>Ni>Zn>Co>Cr>Pb>Cu>Cd</i>

Metales biodisponibles.

La tendencia de cadmio biodisponible es: Tamiahua (2.18 ± 0.61) > Alvarado (<L.D.) = Mandinga (<L.D.); en ostión Alvarado y Tamiahua registran concentraciones por encima del límite dado por la FDA (1993). Tamiahua también registró una concentración promedio de cadmio total por encima del V.S.E.B. Esta situación podría constituir un problema ambiental, especialmente en este sistema lagunar, ya que el cadmio disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Villanueva y Botello, 1992). Es importante señalar que el cadmio total en sedimento y ostión de la laguna de Tamiahua es el más alto de los registrados en las Tablas 75, 76 y 77.

La tendencia para cobalto es: Mandinga (5.15 ± 2.02) > Alvarado (4.61 ± 1.86) > Tamiahua (4.10 ± 1.97); en ostión no se cuenta con un límite máximo de referencia, las concentraciones de cobalto total están encima del promedio de las concentraciones que reportan otros autores en el Golfo de México; pero están dentro del límite de $10-40 \mu\text{g g}^{-1}$ que reporta Kennish (1992) para áreas no contaminadas.

La tendencia de cobre es: Tamiahua (2.46 ± 4.99) > Alvarado (0.98 ± 0.64) > Mandinga (0.40 ± 0.25); en ostión todas las concentraciones promedio estuvieron por encima del límite máximo promedio para moluscos bivalvos de $32.5 \mu\text{g g}^{-1}$ de la FAO (Nauen, 1983); para cobre total las concentraciones estuvieron por debajo del V.S.E.B.

En relación con el cromo biodisponible la tendencia es: Tamiahua (4.08 ± 2.84) > Mandinga (2.36 ± 1.21) > Alvarado (0.85 ± 0.68); las concentraciones de cromo total se ubicaron por debajo del V.S.E.B., lo que contrasta con las concentraciones en ostión de Alvarado y Tamiahua que estuvieron por encima del límite de la FDA (1993).

Para níquel se tiene: Alvarado (2.48±0.74)>Tamiahua (2.25±2.29)>Mandinga (1.68±0.26), las concentraciones de níquel total estuvieron por debajo del V.S.E.B. y las de ostión por debajo del límite de la FDA (1993).

La tendencia del plomo es: Alvarado (10.11±3.89)>Mandinga (5.54±0.76)=Tamiahua (5.54±3.84); en ostión las concentraciones se ubicaron por encima del límite que marca la FDA (1993) y la NOM (D.O.F., 1995) y en general las de plomo total se encontraron por debajo del V.S.E.B.

La tendencia para zinc es: Alvarado (10.11±3.89)>Mandinga (9.33±7.14)>Tamiahua (8.17±4.55), las concentraciones promedio en ostión estuvieron por debajo de los límites que marca la FDA (1993) para moluscos bivalvos y del V.S.E.B. que señalan Long *et al.* para zinc total en sedimento.

En relación con las tendencias por laguna de la fracción biodisponible, se observa en la Tabla 79, coincidencias para Mandinga y Tamiahua. En los tres primeros lugares se presentaron el zinc, plomo y cobalto y en el último al cadmio.

Tabla 79. Secuencia de metales biodisponibles en sedimento de las tres lagunas	
Alvarado	
Nortes	Zn>Pb>Co>Ni>Cr>Cu>Cd
Lluvias	Zn>Co>Pb>Ni>Cu>Cr>Cd
Secas	Zn>Pb>Co>Ni>Cu>Cr>Cd
Promedio	Zn>Pb>Co>Ni>Cu>Cr>Cd
MANDINGA	
Nortes	Zn>Pb>Co>Cr>Ni>Cu>Cd
Lluvias	Zn>Co>Pb>Cr>Ni>Cu>Cd
Secas	Zn>Pb>Co>Ni>Cr>Cu>Cd
Promedio	Zn>Pb>Co>Cr>Ni>Cu>Cd
TAMIAHUA	
Nortes	Zn>Pb>Cr>Co>Ni>Cd>Cu
Lluvias	Zn>Co>Pb>Ni>Cu>Cd=Cr
Secas	Zn>Pb>Co>Cu>Ni>Cd>Cr
Promedio	Zn>Pb>Co>Cr>Cu>Ni>Cd

Metales en ostión.

La tendencia para cadmio en ostión en las tres lagunas es: Tamiahua (7.32±2.85)>Alvarado (4.61±4.71)>Mandinga (2.94±0.97); es importante señalar que el promedio de concentración para Tamiahua y Alvarado están por encima de lo que marca la FDA (1993) de 3.7 µg g⁻¹ como límite en organismos bivalvos.

Los valores de concentración promedio de cobalto en ostión, en el presente estudio, resultaron altos en Tamiahua y Mandinga comparados con los que reportan otros autores (la Tabla 75 y Fig. 16). La tendencia de cobre en ostión es: Alvarado (278.00±264.30)>Tamiahua (202.43±61.60)>Mandinga (165.75±133.69) que estuvieron por encima del límite máximo promedio de FAO (Nauen, 1983).

La tendencia de cromo es: Tamiahua (33.64±8.80)>Mandinga (21.06±2.69)>Alvarado (10.60±3.93); el ostión de Tamiahua y Mandinga sobre pasa el límite de 13 µg g⁻¹ que marca la FDA (1993) para moluscos bivalvos.

El níquel en ostión presentó la siguiente tendencia: Tamiahua (7.62±2.43)>Alvarado (4.22±3.91)>Mandinga (3.64±0.93); todos por debajo del límite permitido por la FDA (1993) de 80 µg g⁻¹. En relación con el plomo, la tendencia fue: Tamiahua (21.42±6.05)>Mandinga (13.17±1.92)>Alvarado (9.05±6.84) los cuales se ubican por encima del límite de 1.7 que estipula la FDA (1993) para moluscos bivalvos. Las concentraciones promedio de zinc, para las tres lagunas, se encontraron por debajo del límite máximo promedio de 718 de FAO (Nauen, 1983), la tendencia fue: Mandinga (159.81±33.18)>Tamiahua (156.85±70.15)>Alvarado (145.82±62.86).

En la Tabla 80 se observan las tendencias por laguna para ostión, en donde se pueden observar más coincidencias entre Mandinga y Tamiahua.

Tabla 80. Secuencia de metales en ostión de las tres lagunas estudiadas	
ALVARADO (<i>C. virginica</i>)	
Nortes	Cu>Zn>Cr>Pb>Cd>Co>Ni
Lluvias	Zn>Cu>Cr>Pb>Co>Ni>Cd
Secas	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Promedio	Cu>Zn>Cr>Pb>Co>Cd>Ni
MANDINGA (<i>C. virginica</i>)	
Nortes	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Lluvias	Zn>Cu>Cr>Co>Pb>Ni>Cd
Secas	Cu>Zn>Cr>Co>Pb>Cd>Ni
Promedio	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
TAMIAHUA (<i>C. virginica</i>)	
Nortes	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Secas	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd
Promedio	Cu>Zn>Co>Cr>Pb>Ni>Cd

En general, no se observa una relación entre las concentraciones de metales en sedimento (total y biodisponible) y ostión (Figuras 6, 12 y 15), las concentraciones altas en ostión, comparadas con la fracción biodisponible, podría explicarse por un proceso de bioacumulación o porque durante la extracción de la fracción se pierde por sedimentación los metales asociados a materia orgánica. En Mandinga, el análisis de regresión por pasos muestra una relación directa entre estas variables, el pH y el % de carbono orgánico (Tabla 82).

CARBONO ORGÁNICO.

En cuanto al porcentaje de carbono orgánico (Tabla 81), en Mandinga se presentan los valores más altos mientras que en Alvarado los más bajos.

Est.	ALVARADO			MANDINGA			TAMIAHUA		
	Nortes	Lluvias	Secas	Nortes	Lluvias	Secas	Nortes	Lluvias	Secas
1	0.84	0.36	1.56	3.85	3.57	2.15	1.78	0.86	
2	0.90	0.33	1.49	3.37	3.22	1.31	0.57	0.27	1.62
3	1.20	0.93	1.83		3.07	0.81	1.66	2.84	1.06
4	1.05	0.93	1.36	3.30*	3.45	2.42	0.67	1.92	1.57
4'				3.15*					
5	1.11	0.99	1.86	4.20	2.87	2.12	2.06	2.57	1.45
6	0.24	1.17	0.68	3.35	3.70	1.10	2.15	2.07	2.01
7							1.54	1.86	2.01
8							0.54	1.74	1.48
9							1.18	1.12	
Prom	0.89±0.3	0.78±0.4	1.46±0.4	3.54±0.4	3.31±0.3	1.65±0.7	1.35±0.6	1.69±0.8	1.60±0.3

*Duplicado de la estación 4 (4 y 4').

El valor más pequeño de %C.O. se registra en Alvarado (0.24%), en la época de nortes frente a la Ciudad de Alvarado, el más alto (4.20%) en Mandinga en la época de nortes en Caño Salazar (estación 5).

En general, Mandinga es la que presenta los valores mas altos de materia orgánica; resulta interesante comparar estos valores con los reportados por Villanueva (1987) para el Río Coatzacoalcos (5.4% y 3.9% dos puntos cercanos a la ciudad del mismo nombre), que recibe los desechos urbanos e industriales de la ciudad.

La relación entre el porcentaje de carbono orgánico y la concentración de metales totales o biodisponibles no fue alta; en Alvarado el coeficiente de determinación más elevado para metales biodisponibles fue con plomo ($R^2= 0.4386$, $\alpha=0.002$) (Figura 7), y para metales totales cobre ($R^2= 0.4159$, $\alpha=0.003$), plomo ($R^2= 0.6006$, $\alpha=6.35E-05$) y zinc ($R^2= 0.5902$, $\alpha=8.32E-05$) (Figura 8). Para Mandinga con el cadmio total ($R^2= 0.6024$, $\alpha=6.05E-05$) (Figura 13); en estos casos el valor de α explica una relación significativa de 42 a 60% entre el metal total o biodisponible y el carbono orgánico. Para Tamiahua el índice de determinación más alto para metales totales fue de 0.11 y para biodisponibles 0.17.

Se hicieron análisis de regresión múltiple entre los datos de metales en ostión y los de sedimento (total y biodisponible), pH y %CO, traducidos en el siguiente modelo: Metal en ostión=Metal total+Metal biodisponible+pH+%CO, esto con el fin de determinar la influencia que tienen las variables independientes sobre la concentración encontrada en el molusco (Tabla 82). Se marcaron con negritas las regresiones que resultaron significativas.

Tabla 82. Resultados de regresión múltiple entre la concentración de metal en ostión, sedimento, pH y %CO									
Metal	Alvarado			Mandinga			Tamiahua		
	R²	p	v.i.	R²	p	v.i.	R²	p	v.i.
Cadmio	3.9e-032	x		*0.72	0.0414	T, CO	1.1e-032	x	
Cobalto	*0.73	0.01	B, CO	0.45	0.07	CO	0.31	0.12	B
Cromo	2.3e-031	x		*0.92	0.01	B, T, pH	8.3e-031	x	
Cobre	0.53	0.07	B, T	0.56	0.13	T, CO	0.58	0.19	T, pH, CO
Níquel	0.43	0.04	CO	1.1e-030	x		6e-031	x	
Plomo	*0.85	0.007	B, T, CO	*0.99	0.002	B, T, pH, CO	0.38	0.08	B
Zinc	0.57	0.05	B, pH	*0.85	0.009	B, pH	0.36	0.09	pH

v.i. variables independientes (metal total -T, metal biodisponible -B, pH, %CO -CO)

En la Tabla 82, se puede apreciar que Mandinga es la laguna cuyas concentraciones, en ostión (cadmio, cromo, plomo y zinc), dependen en mayor grado de la concentración del metal en sedimento (total y biodisponible), pH y %CO. En relación con cobalto y cobre, aún cuando no resulta significativa la relación entre variables, el modelo explica entre el 45 y 56% de la variación observada en la concentración de los metales en ostión. Para Alvarado sólo el cobalto y plomo resultaron significativas las diferencias entre las variables, para cobre, níquel y zinc el modelo explica entre el 43 y el 57% con una p que va del 0.04 al 0.07. En Tamiahua el modelo explica un 58% del modelo para cobre con una p de 0.19.

En la Figura 17, se presenta gráficamente la dispersión de los datos de concentración de metales totales en sedimento y ostión en las tres lagunas. En general, no se aprecia una relación entre la concentración del metal total y la de ostión.

Para Alvarado y Mandinga, los metales totales que resultaron significativos en las regresiones si tienen una semejanza con la gráfica de ostión. En Alvarado se puede ver una semejanza en la distribución de las concentraciones de plomo total y ostión, al igual que para Mandinga con cadmio, cromo y plomo.

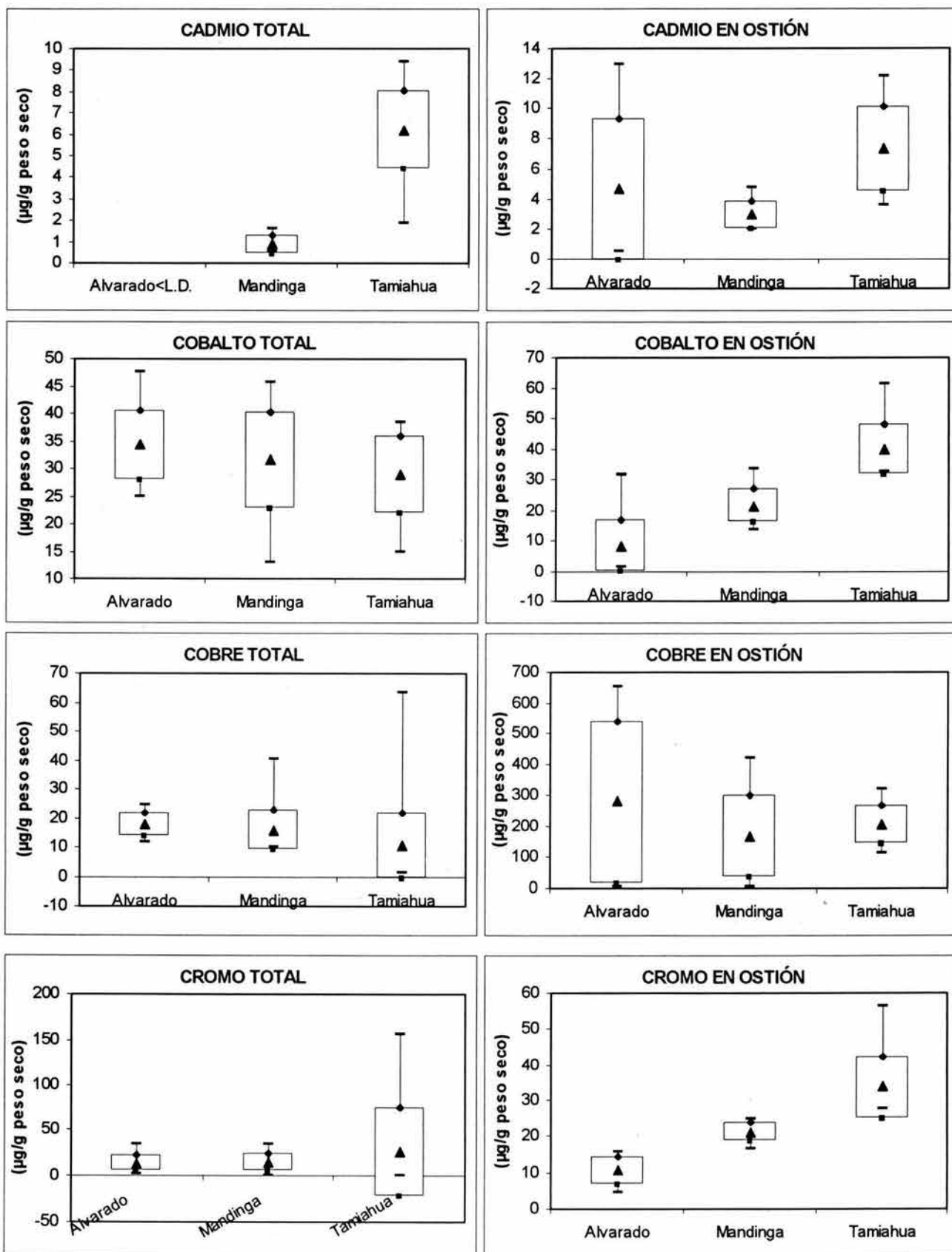


Figura 17. Diagramas de caja de las concentraciones de metal total en sedimento y ostión de las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua.

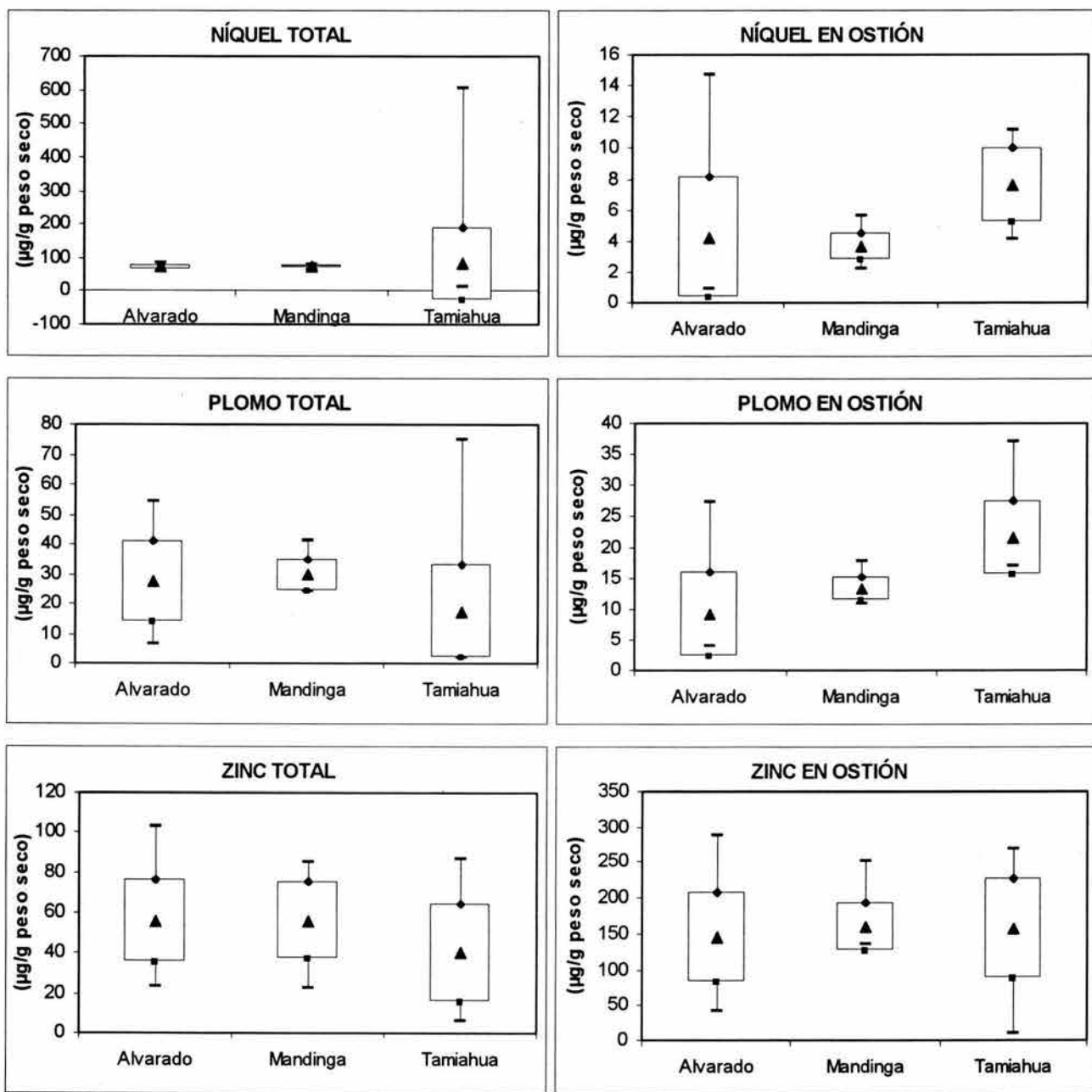


Figura 17. Diagramas de caja de las concentraciones de metal total en sedimento y ostión de las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

En la Tabla 83 se sintetizan los resultados de los ANOVA obtenidos para metales en organismos y sedimento (biodisponibles y totales) para las tres lagunas.

Tabla 83. RESUMEN DE ANOVA CUADRO LATINO PARA LAS LAGUNAS DE ALVARADO, MANDINGA Y TAMIAHUA				
METAL	N	LAGUNA	ÉPOCA	SITIO
cobalto biodisponible	61	0.253 ns	*0.044	0.157 ns
cobre biodisponible	36	0.220 ns	0.608 ns	0.486 ns
cromo biodisponible	38	*0.000	0.078 ns	0.395 ns
níquel biodisponible	59	0.131 ns	0.209 ns	0.142 ns
plomo biodisponible	54	0.869 ns	*0.020	*0.046
zinc biodisponible	52	0.589 ns	0.149 ns	0.086 ns
cadmio total	30	*0.000	*0.000	0.518 ns
cobalto total	61	*0.049	*0.016	0.195 ns
cobre total	59	*0.000	0.387 ns	0.141 ns
cromo total	53	*0.022	*0.004	0.731 ns
níquel total ¹	60	*0.029	0.567 ns	*0.042
plomo total	58	*0.003	*0.034	0.121 ns
zinc total	59	*0.017	0.063 ns	0.506 ns
cadmio ostión	30	*0.004	0.240 ns	*0.003
cobalto ostión	30	*0.000	0.304 ns	0.144 ns
cobre ostión	30	0.493 ns	*0.041	0.123 ns
cromo ostión	30	*0.000	*0.038	*0.033
níquel ostión	30	*0.008	0.142 ns	0.381 ns
plomo ostión	30	*0.000	0.132 ns	*0.035
zinc ostión ¹	30	0.637 ns	*0.033	0.811 ns

*p<0.05 Significativo. ns= no significativo

1. Análisis no paramétrico Kruskal-Wallis N.- Número de muestra

Comparando las tres lagunas se puede observar que las diferencias entre éstas son importantes, ya que el 65% de las variaciones entre concentraciones de metales en ostión y sedimento resultan significativas. Por otro lado, la época de muestreo tiene mayor influencia sobre las concentraciones encontradas que el sitio; el 45% de los casos resultaron significativos por época y para el sitio sólo el 25%.

En la Tabla 84 se presentan los valores promedio de concentración de metales por laguna:

Tabla 84. Concentraciones promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metales en ostión y sedimento				
METAL	Alvarado	Mandinga	Tamiahua	P<0.05
Cr biodisponible	0.85	2.36	4.08	0
Cd total	<L.D.	0.89	6.21	0
Co total	34.19	31.56	28.88	0.049
Cu total	17.49	14.34	8.31	0
Cr total	13.75	14.75	26.40	0.022
Ni total	71.80	72.26	59.18	0.029
Pb total	27.49	29.56	17.35	0.003
Zn total	55.81	56.14	39.98	0.017
Cd ostión	4.61	3.10	7.32	0.004
Co ostión	8.28	22.10	39.73	0
Cr ostión	10.60	21.06	33.64	0
Ni ostión	4.22	3.75	7.62	0.008
Pb ostión	9.05	13.71	21.42	0

Para cromo biodisponible, cadmio y cromo totales, y cadmio, cobalto, cromo, níquel y plomo en ostión, las concentraciones promedio fueron mayores en Tamiahua. En Alvarado se presenta el valor máximo para cobalto y cobre total, y para Mandinga el de níquel, plomo y zinc totales (con valores similares a los de Alvarado).

En todos los casos el ostión de Tamiahua fue el que presentó las concentraciones promedio más altas, es importante señalar que la concentración de cadmio, cromo y plomo sobrepasan los límites que marca la FDA (1993) y la NOM-031-SSA1-1993 (para cadmio y plomo en moluscos bivalvos); el plomo en ostión de las lagunas de Alvarado y Mandinga, así como el cromo en el ostión de Mandinga pasan los límites que marcan la FDA y la NOM.

La presencia de cobalto, cromo y níquel en los seres vivos se explica fácilmente; el cobalto está presente en los alimentos y forma parte de la vitamina B₁₂ (ATSDR, 1992), el cromo se encuentra en forma natural en animales y plantas (ATSDR, 2000), y el níquel es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza (ATSDR, 1997); pero el cadmio y plomo se encuentran presentes en la naturaleza en forma escasa (ATSDR, 1999a; ATSDR, 1999b) por lo que un incremento en su concentración en el medio marino es principalmente resultado de actividades antropogénicas (Sadiq, 1992).

Los dos primeros elementos son esenciales a diferencia del cadmio y el plomo, que son de los más tóxicos; el níquel aún cuando es abundante en la naturaleza es necesario que se encuentren en formas específicas (biodisponibles) en el ambiente marino. La concentración de Cd, Co, Cr, Ni y Pb biodisponibles en Tamiahua fue en todos los casos menor que la encontrada en ostión, esto se explica ya que los organismos al alimentarse mediante filtración toman estos elementos del medio y los bioacumulan (Sadiq, 1992).

Los resultados de los ANOVA realizados entre lagunas para metales totales, se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de todos los metales. La tendencia, con base en las concentraciones promedio por laguna, para cadmio y cromo: Tamiahua>Mandinga>Alvarado; cobre y cobalto: Alvarado>Mandinga>Tamiahua; y para níquel, plomo y zinc: Mandinga>Alvarado>Tamiahua.

El único metal biodisponible que resulta significativo, en el análisis entre lagunas, fue el cromo, la tendencia de acuerdo a la concentración promedio en cada laguna: Tamiahua>Mandinga>Alvarado. De acuerdo con esta tendencia se puede pensar, que de manera diferencial en las tres lagunas, se está generando un proceso de adsorción del cromo a partículas que posteriormente se sedimentan.

Sadiq (1992), señala que la materia orgánica juega un papel importante en la adsorción del cromo, la forma química del cromo es importante en el proceso de adsorción y precipitación, que se da más probablemente bajo la forma de Cr(III) cuando es adsorbido por superficies de óxido de Fe o complejos orgánicos, lo que disminuye la biodisponibilidad del cromo; el cromo se bioacumula en mayor grado cuando se encuentra como Cr(IV). La presencia de Cr(III) y Cr(IV) depende de las condiciones redox del medio acuático. Lo anterior, contrasta con el resultado del análisis de regresión entre el porcentaje de carbono orgánico y la concentración de cromo biodisponible, ya que no se observa una relación significativa entre ambas variables.

En la Tabla 85 se analizan los promedios por época de muestreo (nortes, lluvias y secas) para cada laguna y el resultado de p:

METAL	Alvarado			Mandinga			Tamiahua			p<0.05
	N	LI	S	N	LI	S	N	LI	S	
Co biodisponible	3.48	4.83	5.52	3.62	6.71	5.11	3.90	3.59	5.01	0.044
Pb biodisponible	4.31	3.91	6.43	5.07	5.86	5.69	6.43	2.94	7.27	0.020
Cd total	<LD	<LD	<LD	0.89	<LD	<LD	6.21	6.61	4.05	0
Co total	31.48	32.73	38.36	30.09	33.68	30.92	23.30	31.88	32.21	0.016
Cr total	18.73	11.97	10.54	14.46	13.86	15.95	101.2	0.69	6.53	0.004
Pb total	19.63	20.71	38.20	26.90	30.89	30.88	21.42	10.07	21.48	0.034
Cu ostión	311.6	108.8	329.0	241.2	42.5	162.0	194.3	-----	210.6	0.041
Cr ostión	8.68	7.74	13.94	23.25	19.89	17.33	29.91	-----	37.36	0.038
Zn ostión	183.8	109.5	126.1	174.5	142.5	149.0	114.4	-----	199.3	0.033

Como se puede observar en la Tabla 85, para cobalto y plomo biodisponible, cadmio, cobalto y plomo total, cobre, cromo y zinc en ostión no se aprecian diferencias marcadas en las concentraciones promedio para cada época entre lagunas, las variaciones se observan entre cada sistema lagunar. El cromo total presenta un valor máximo en Tamiahua en la época de nortes que está muy por encima de las concentraciones promedio de las tres lagunas, esto podría deberse a descargas puntuales en las estaciones 6 y 9. En relación con los valores máximos de concentración, en Alvarado y Tamiahua se registra una tendencia a presentarse con mayor frecuencia en la época de secas y en Mandinga en la de nortes y lluvias.

En la Tabla 86 se analizan los promedios por sitio (1, 2 y 3) para cada laguna y el resultado de p:

Tabla 86. Concentraciones promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$) de metales por sitio										
METAL	Alvarado			Mandinga			Tamiahua			p<0.05
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Pb biodisponible	3.42	4.98	5.54	5.59	5.23	5.68	4.27	3.51	7.40	0.046
Ni total	68.22	68.66	78.31	73.65	70.07	72.95	46.28	48.24	67.70	0.042
Cd ostión	0.73	1.52	9.64		3.05	2.86	5.64	6.90	8.88	0.003
Cr ostión	7.78	10.80	11.80		19.94	21.81	28.72	31.40	39.00	0.033
Pb ostión	5.71	6.48	13.28		13.62	12.87	17.87	19.40	25.59	0.035

Los valores máximos de concentración de los diferentes metales en sedimento y ostión se registraron en Alvarado (níquel total y cadmio en ostión) y Tamiahua (plomo biodisponible y cromo y plomo en ostión) en el sitio 3 (estaciones interiores).

En los tres sistemas la concentración máxima de plomo biodisponible y cromo en ostión se presentó en el sitio 3; en Alvarado y Tamiahua la de níquel total, cadmio y plomo en ostión, a diferencia de Mandinga cuyo valor máximo de níquel se presentó en el sitio 1; el cadmio y plomo en ostión en el sitio 2 (estaciones en contacto con otros cuerpos de agua), en este caso no se puede discutir sobre la concentración en ostión de los dos metales más tóxicos, ya que no se cuenta con muestra de ostión en el sitio 1, donde se esperaría encontrar las concentraciones más altas, por estar en contacto con el Río Jamapa que acarrea los desechos del Río Blanco.

En Alvarado y Tamiahua se ve una tendencia a encontrar los valores mínimos en el sitio 1 (estaciones con influencia marina), que puede deberse a la dilución de los contaminantes en esa zona.

|

ANÁLISIS TOXICOLÓGICO.

En la Tabla 87 se presentan únicamente los resultados del ensayo con un MOE<10, para las concentraciones de cadmio encontradas en ostión y cuyo consumo a largo plazo podría afectar a individuos de 8 años (masculino y femenino). Si se analiza la tabla, y tomando en cuenta el estudio que sustenta el NOAEL crónico realizado en humanos, el MOE<10 se puede considerar como de riesgo para la salud (marcados en gris). Se anexan los cálculos realizados por metal.

Tabla 87. Resultados del ensayo toxicológico, con base en las concentraciones promedio de cadmio en ostión						
LAGUNA	Niño			Niña		
	(mg Cd/kg/día)			(mg Cd/kg/día)		
	exposición	Aguda	Crónica	exposición	Aguda	Crónica
Alvarado	0.0002	60225.55	9.10	0.0002	59359.17	8.97
Nortes	0.0003	54605.55	8.25	0.0003	53820.01	8.13
Lluvias	0.0001	185111.31	27.97	0.0001	182448.35	27.56
Secas	0.0003	48789.09	7.37	0.0003	48087.22	7.26
Mandinga	0.0002	89570.56	13.53	0.0002	88282.03	13.34
Nortes	0.0002	92645.22	14.00	0.0002	91312.45	13.80
Lluvias	0.0001	129453.63	19.56	0.0001	127591.35	19.28
Secas	0.0002	69680.68	10.53	0.0002	68678.28	10.38
Tamiahua	0.0004	37950.11	5.73	0.0004	37404.17	5.65
Nortes	0.0004	32313.91	4.88	0.0004	31849.05	4.81
Secas	0.0003	45967.82	6.94	0.0003	45306.54	6.84

Como se aprecia en la tabla, estos valores se presentaron en ostiones de las lagunas de Alvarado y Tamiahua. De acuerdo con los resultados del ensayo, la población más expuesta sería la infantil (8 años) que en función de su peso (25 a 26 Kg) y el consumo de ostiones con presencia de cadmio (0.005 a 0.009 $\mu\text{g g}^{-1}$) podría representar un riesgo para su salud a largo plazo. Con relación a los índices registrados para adultos, en Tamiahua, existe un valor cercano al límite que corresponde a la exposición crónica para una mujer adulta en la época de nortes (10.65). Para Mandinga no se registró ningún valor de MOE<10, en negritas aparecen marcados los valores próximos.

Cabe señalar que los organismos marinos generalmente contienen mayores residuos de cadmio que sus contrapartes de agua dulce o terrestre; los moluscos concentran en alto grado el cadmio, aunque la asimilación es a menudo lenta. En un ambiente acuático algunas formas de cadmio se unen al suelo o permanecen en la columna de agua, y son absorbidas por animales y plantas desde el aire, agua o el alimento; (Jonnalagadda y Prasada, 1993).

En el cuerpo, el cadmio puede cambiar a otras formas químicas, pero permanece en él por periodos largos de tiempo (años). Para efecto de estudios toxicológicos, que permitan

determinar el riesgo potencial de efectos adversos para la salud, es de particular importancia conocer la forma química del cadmio en el ambiente.

En términos generales, la mayor parte del cadmio que entra en un organismo se va a riñones e hígado que tienen la capacidad de cambiar la mayor parte del cadmio a formas no dañinas, pero el consumo de bajos niveles de cadmio por un período prolongado de tiempo puede aumentar su concentración, y si alcanza un nivel suficientemente alto su habilidad para realizar dicha transformación se afecta causando daño en ambos y en la salud en general, por ejemplo fragilidad ósea (ATSDR, 1999a). Se han hecho análisis en el hígado de consumidores de ostión, muertos por diversas causas, que confirman que la absorción de cadmio es muy baja en esa población, lo que sugiere que su biodisponibilidad también lo es (Jonnalagadda y Prasada, 1993).

La IARC (International Agency for Research on Cancer) tiene clasificado al cadmio y componentes de cadmio en el Grupo I, categoría que agrupa sustancias carcinogénicas de las que existen evidencias suficientes en humanos (IARC, 1997).

Es importante anotar que la exposición a cadmio es más preocupante por el consumo de cigarrillos que por el de alimentos, ya que de éstos sólo se absorbe entre un 5 a 10%; el resto se desecha a través de las heces y orina. Si la dieta diaria no contiene cantidades suficientes de hierro, proteínas y calcio, o si es alta en grasas, se tiene una mayor predisposición a absorber más cadmio de los alimentos (ATSDR, 1999a). El zinc y calcio juegan también un papel importante en la disminución del proceso de absorción del cadmio (Jonnalagadda y Prasada, 1993).

Los efectos en la salud en niños, como resultado de la exposición a cadmio, se esperaría fueran similares a los que causa en adultos, éstos son más fáciles de observar a exposiciones a corto plazo a altas concentraciones; lo contrario a lo que ocurre con la exposición a bajos niveles de cadmio por prolongados períodos de tiempo, que son las más probables en la población en general, en la que es difícil determinar la causa de los efectos dañinos.

Existen estudios en animales a exposiciones altas de cadmio durante la gestación que registran efectos dañinos en las crías. El sistema nervioso parece ser el blanco más sensible, las crías muestran efectos adversos en el comportamiento y aprendizaje; por otro lado, se puede reducir el peso corporal y el desarrollo del esqueleto en las crías que estuvieron expuestas antes del nacimiento.

Sin embargo, en humanos no se han observado efectos similares, debido a que la respuesta en éstos puede ser diferente o los niveles de exposición pueden estar considerablemente por debajo de los niveles que producen efectos adversos en animales; por lo que se requiere más investigación sobre los efectos en la salud humana (ATSDR, 1999).

Por otro lado, aún cuando el MOE no resultó significativo para el plomo en ostión, es importante señalar que para las tres lagunas las concentraciones se encontraron por encima del límite que marca la FDA (1993) para moluscos bivalvos, debido probablemente a que el NOAEL utilizado para definir dicho límite es menor al que se usó en el presente estudio.

Cabe señalar que el cadmio, plomo y mercurio son metales de alta prioridad en función de su toxicidad.

El plomo entra a las aguas costeras en un alto porcentaje por vía atmosférica (Mandelli, 1979) y los moluscos en áreas contaminadas por plomo lo acumulan en grandes cantidades en forma de sales insolubles, que resulta un mecanismo de desintoxicación y que lo convierte en no disponible, por lo que se puede pensar que se reduce su biodisponibilidad a lo largo de la cadena alimenticia; pero por el contrario, un estudio en ratones alimentados con mejillones con altos contenidos de plomo indica la alta biodisponibilidad del metal en su forma biológicamente no tóxica, como resultado de un proceso de bioacumulación. Por lo que el consumo de moluscos procedentes de ambientes contaminados constituye un posible riesgo para la salud humana (Regoli, 1994).

Luna *et al.* (2002) señalan que, con excepción de la Laguna de San Andrés, las lagunas de Mandinga y Alvarado presentan un alto nivel de contaminación por plomo, tanto en agua como en ostión, en comparación con otras lagunas del Golfo de México, que sobrepasa hasta 4 veces lo que marca la NOM-031-SSA/1993 ($1 \mu\text{g g}^{-1}$).

Otra consideración importante, es el hecho de no contar con estadísticas confiables y finas, ya que el consumo per cápita es un índice que se calcula a partir de la producción destinada para el mercado nacional dividido entre la cifra que resultó del censo de población más reciente dado por INEGI en el 2000, esto no refleja en realidad la cantidad y frecuencia con la que una persona come pescados y mariscos en el país, es un dato muy mediatizado que da una idea del consumo nacional, pero de ninguna forma del local, por lo que no se pueden hacer análisis confiables, aspecto importante si se considera que en la zona costera los pescados y mariscos son parte importante de la dieta, y que la gente en México se alimenta de productos del mar dependiendo de la facilidad que tenga para conseguirlos frescos.

Se calculó también la Tasa de Consumo (Cr) de ostión en la población infantil de 8 s de edad (con un peso corporal de 25.7 kg para niño y 25.4 kg para niña), partiendo de la concentración de cadmio encontrada en las muestras de ostión. La RfD para este metal es 0.001 mg de Cd/kg de peso corporal/día (IRIS, 1996). En la Tabla 88 se presentan los resultados obtenidos:

Laguna	[mg/kg]	niño	d.s.+	niña	d.s.+
Alvarado	4.61±4.7	0.029	0.014	0.028	0.01
Tamiahua	7.32±2.9	0.018	0.013	0.018	0.01

Se realizó el cálculo partiendo de la concentración promedio de cadmio en peso seco y sumando la desviación estándar (d.s.), el resultado se multiplicó por un factor de 5.128, que es la relación entre 1g de la muestra de ostión en peso húmedo y su equivalente de 0.195 g en peso seco.

Con base en la concentración de cadmio en el ostión de Alvarado, la población infantil de 8 años podría consumir hasta 28 g/día; en el caso del ostión de Tamiahua se obtuvo una Tasa

de Consumo de 18 g/día. Si el cálculo se realiza a partir de la concentración más la desviación estándar, la tasa recomendada disminuye hasta 14 y 13 g/día respectivamente. Cabe señalar, que no es posible hacer el cálculo de la tasa de consumo en función del contenido de plomo en ostión porque no existe una RfD, aún cuando las concentraciones de plomo exceden los límites máximos permisibles de la FDA (1993) y de la NOM-031-SSA1-1993 (D.O.F., 1995) y resultan superiores a las concentraciones promedio de cadmio en ambas lagunas.

VII. CONCLUSIONES.

METALES TOTALES.

- La concentración promedio de **níquel total** para las **tres lagunas** se encontraron **por encima del V.S.E.B.**, el **cobalto total** se ubicó por encima del promedio de las concentraciones que reportan otros autores en el Golfo de México; pero dentro de los límites entre 10-40 $\mu\text{g g}^{-1}$ que reporta Kennish (1992) para áreas no contaminadas.
- El promedio de concentración de **cadmio total** en **Tamiahua rebasa el V.S.E.B.**
- Los promedios de concentración para **chromo, plomo, cobre y zinc** totales en las tres lagunas se ubicaron por **debajo del V.S.E.B.**
- Los resultados de los ANOVA mostraron diferencias significativas entre lagunas para los promedios de concentración de todos los metales, con excepción del cobalto.
- Se encontró una relación directa entre el porcentaje de carbono orgánico y la concentración de cobre, plomo y zinc totales en la laguna de Alvarado, en la laguna de Mandinga la relación con cadmio total es inversamente proporcional.

METALES BIODISPONIBLES.

- Las concentraciones máximas promedio de cadmio, cobre y chromo biodisponible se presentaron en la laguna de Tamiahua; las de níquel, plomo y zinc en Alvarado y la de cobalto en Mandinga.
- Los resultados de los ANOVA mostraron diferencias significativas entre lagunas únicamente para los promedios de concentración de chromo biodisponible, la variación en la concentración del resto de los metales no se debe a la dinámica propia de cada la laguna.
- Se encontró una relación directa entre el porcentaje de carbono orgánico y la concentración de plomo biodisponible en la laguna de Alvarado.

METALES EN OSTIÓN.

- Las concentraciones promedio de **cobre y plomo** en las **tres lagunas** se **encontraron por encima del límite máximo permisible promedio de la FAO y de la FDA**, respectivamente.

- Las concentraciones promedio para **cadmio en Tamiahua y Alvarado rebasaron el límite que establece la FDA para moluscos bivalvos.**
- Los promedios de concentración de **romo en Tamiahua y Mandinga sobrepasaron el límite que marca la FDA para moluscos bivalvos.**
- Los promedios de concentración de **níquel y zinc** estuvieron en las **tres lagunas por debajo del límite de la FDA y de la FAO.**
- **Tamiahua** presentó las **concentraciones más altas de metales en ostión**, con excepción de cobre.
- Los resultados de los ANOVA muestran diferencias significativas entre lagunas para los promedios de concentración de cadmio, cobalto, cromo, níquel y plomo en ostión, que evidencian las condiciones particulares y problemática de contaminación de cada laguna.
- La mayor concentración de metales en ostión, comparada con la fracción biodisponible, puede deberse a un proceso de bioacumulación o que parte de la fracción (los metales asociados a materia orgánica) se perdió por sedimentación durante el proceso de extracción.
- Se obtuvieron correlaciones significativas entre la concentración de metales en ostión y la talla o peso del ostión para el cadmio en Mandinga y el zinc en Tamiahua.
- En el análisis de regresión por pasos, entre la concentración en ostión y la de sedimento (total y biodisponible), pH y %C.O, Mandinga es la que muestra una mayor relación entre las variables.

ENSAYO TOXICOLÓGICO.

- El resultado del MOE señala que la población más expuesta a largo plazo, por el consumo de ostión de las lagunas de Alvarado y Tamiahua, sería la infantil en razón de su peso corporal debido a las concentraciones que presentan de cadmio.
- El resultado del MOE no señala como riesgo el consumo de ostión en función de su contenido de plomo, pero las concentraciones en las tres lagunas se ubicaron por encima del límite que marca la FDA para moluscos bivalvos.
- La población infantil puede consumir ostión sin exceder la Tasa de Consumo (Cr) recomendada. Para el ostión procedente de Alvarado son 28 g/día, y para el de Tamiahua 18 g/día, en función de su contenido de cadmio, la Tasa disminuye a 14 y 13 g/día respectivamente, si se calcula partiendo de la concentración promedio más la desviación estándar.

VIII. RECOMENDACIONES.

Son diversas las tareas técnicas y de gestión que se han propuesto para conocer y controlar, en alguna medida, la contaminación por metales pesados que afectan la zona costera en México, problema que tiene una componente importante de organización y voluntad política.

En cuanto a la organización, se requiere la estandarización de métodos de evaluación de la contaminación por metales pesados, de forma que se puedan comparar los resultados obtenidos por los distintos grupos de trabajo; lo anterior se refleja en la falta de estudios integrales que permitan evaluar la contaminación sobre la biota, porque resulta difícil y además porque en México son escasos los grupos interdisciplinarios de profesionales que realicen dichos estudios (Rendón *et al.*, 1995). El consolidar grupos de este tipo con personas de diversas instituciones comprometidas en proyectos comunes que atiendan los problemas prioritarios, resolvería el problema económico, de personal especializado y de estandarización de métodos.

Por otro lado, se podría crear una red de instituciones dedicadas a este campo con el fin de sumar esfuerzos, optimizar el uso de los recursos económicos y materiales, contar con el conocimiento de las variaciones de la contaminación por metales en agua, sedimento, moluscos bivalvos y peces de importancia comercial, que permita el seguimiento en especies indicadoras de contaminación por metales y que sean de consumo humano para eventualmente evaluar los posibles riesgos de su consumo (Rendón *et al.*, 1995); ya que no se cuenta con estudios toxicológicos, y se tiene que recurrir a estudios en otros países, como sucede con los límites máximos permitidos en organismos de origen acuático y en sedimento. Cabe señalar que para cobalto no se tiene ni siquiera una referencia internacional.

Se deben realizar estudios de ecotoxicología, ya que por ejemplo la presencia de cadmio en ambientes marinos disminuye la capacidad de sobrevivencia de larvas y estadios juveniles de peces, moluscos y crustáceos (Villanueva y Botello, 1992); al respecto resulta interesante resaltar el hecho de que en Tamiahua se reportaron concentraciones por encima del límite permitido en ostión y sedimento, cuando en la laguna se han realizado actividades para favorecer la fijación de larvas mediante el sembrado de concha verde. La situación anterior deja ver otro problema que enfrenta la investigación, la desarticulación o la falta de enfoque integral en las investigaciones pesqueras.

Se requiere estimar la concentración de los distintos contaminantes en el ambiente acuático en función de sus tasas de ingreso y distribución, así como los factores de concentración de estas sustancias en los organismos y sedimentos (Mandelli, 1979). En sedimentos se requieren estudios de núcleos con el fin de determinar la concentración de los metales en el tiempo y su tendencia de acumulación.

En función de la importancia que tiene el ostión como pesquería y como especie indicadora de contaminación, se sugiere realizar estudios en los que se analicen muestras por límite de talla, ya que ésta es directamente proporcional a su capacidad para concentrar metales en

sus tejidos. Por otro lado, se requieren estudios de la plataforma continental en el Golfo de México para definir las fuentes y el destino de los metales (Villanueva y Botello, 1998).

Es necesario el seguimiento de parámetros ambientales que se sabe influyen el comportamiento de los metales en el medio acuático como pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, etc. (Rendón *et al.*, 1995).

Se requiere sensibilizar a los tomadores de decisiones que es necesaria la gestión del agua enfocada a un sistema de aseguramiento de calidad del agua (como las ISO 9000), que garantice un incremento significativo en la calidad y mejora de la prestación de servicios, y adoptar medidas de gestión que hagan funcionar nuestras instituciones con el fin de asegurar la conservación y preservación de los recursos hídricos (Sámano, 2000).

Son diversas las medidas que se tienen que implementar para lograr lo que se dijo en el párrafo anterior, se requiere por ejemplo la creación de laboratorios certificados y personal especializado que pertenezca al sector gubernamental, ya que el sector privado los considera “no rentables”, que se manejen por un comité en el que estén involucrados el gobierno, la academia y el sector privado, entre otros (Rendón *et al.*, 1995).

Se recomienda acelerar el proceso de formación de Unidades de Verificación que determinen el cumplimiento de las NOM del sector agua, y la sistematización de la información que estas unidades generen, con el fin de conocer su desempeño y contar con estadísticas del país por estado (Mejía *et al.*, 2000).

Lo anterior, permite resaltar el hecho de la falta de apoyo gubernamental para la investigación en general, y en particular para aquellos estudios que no se consideran rentables desde el punto de vista “comercial”, cuando en nuestro país las investigaciones de los recursos acuáticos y su medio deben enfocarse principalmente a atender el aspecto social, que es la principal componente de la actividad pesquera.

Por lo antes mencionado se requieren estudios de tipo integral, como los de ordenamiento que deben realizarse en áreas prioritarias, en las que están incluidas las lagunas en estudio (CONABIO, 1998), así como poner a trabajar los Consejos de Cuenca y sus organizaciones auxiliares de cuenca, estrategia de gestión planteada por la Comisión Nacional del Agua, que tienen como principio armonizar el uso, aprovechamiento y administración de todos los recursos naturales, tomando en consideración la relación entre los recursos y el medio, así como los aspectos sociales y económicos de la sociedad que vive y hace uso de ese entorno (CNA, 1998). Estos estudios son de suma importancia si se considera que entre las subregiones más contaminadas del país se encuentra el Alto Pánuco, que cuenta con un Consejo de Cuenca instalado el 26 de agosto de 1999.

La CNA clasifica los cuerpos de agua receptores en A, B y C, los de tipo C son en los que la contaminación tiene mayores efectos, dicho órgano, desconcentrado de la ahora SEMARNAT, cobra por derechos en materia de descargas de aguas residuales, en relación con aquellas cuyo contenido de metales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc) está por encima de los límites máximos permisibles por la NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1996), la cantidad de 0 a 150.39 pesos (CNA, 1999). En relación a

esto se debería revisar el control que se tiene sobre las descargas que realizan los usuarios (los que pagan derechos y que por tanto están registrados) en los diferentes cuerpos de agua, así como la regulación de dichas descargas, y los criterios que permitieron el establecimiento de los pagos y su administración.

También se recomienda revisar los criterios para clasificar la carga orgánica total de los cuerpos de agua en el país con base en la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), ya que ambos métodos dan como resultado una clasificación ambigua y contradictoria; debería usarse un índice que tome en cuenta la cantidad y calidad, con el fin de tener una idea clara de la disponibilidad efectiva del agua en México, como los índices de disponibilidad del agua (ID) y el potencial de uso (PU) propuestos por Jiménez y Ramos (1996), donde el primero refleja la cantidad y el grado de tratamiento requerido por el agua para darle el uso deseado en función de su calidad y el segundo mide cuanto y por qué se aleja el agua de la calidad, deseada.

No se pueden dejar de realizar proyectos productivos, pero tampoco se pueden seguir contaminando nuestros cuerpos de agua de cuya subsistencia dependemos, por lo que es necesario revisar las normas ambientales existentes, en especial aquellas en relación a los estudios de impacto ambiental que son un instrumento fundamental para evitar el deterioro del medio acuático, estudios que deben realizarse previos a la realización de cualquier obra, y analizar su cumplimiento y aplicación, determinar si las autoridades tienen la capacidad en cuanto al número de personas para supervisar las obras propuestas por dichos estudios o si las empresas prestadoras de servicios los están realizando adecuadamente. Los estudios de impacto deben realizarse por empresas que demuestren la existencia de un grupo interdisciplinario de trabajo y asegurar su estancia en el lugar donde se desarrolla el proyecto (Soto, 2000).

Como resultado de los estudios de ordenamiento e impacto ambiental, así como por el resultado de la gestión de los Consejos de Cuenca, se debe impulsar entre otras medidas de gestión de materiales, residuos y actividades peligrosas, el reciclaje de desechos sólidos municipales e industriales, mediante el tratamiento de aguas residuales y sus lodos; manejo adecuado de los residuos de curtidurías; la consolidación de infraestructura de manejo de residuos peligrosos; involucrar a los grupos sociales interesados y sistematizar la difusión de información que dichos grupos requieran; buscar oportunidades de cooperación técnica multilateral para el manejo ambiental de residuos y la restauración de sitios contaminados (INE, 2000) como lo son las lagunas costeras de Alvarado, Mandinga y Tamiahua que son consideradas como áreas prioritarias por CONABIO.

Para el buen funcionamiento de los Consejos de Cuenca se debe obligar la participación de la estructura política del país (estados, municipios y delegaciones que pertenezcan a las diferentes regiones hidrológicas), así como a los usuarios del agua (público urbano, servicios, industrial, acuícola, pecuario y agrícola), con el fin de activar los Comités Regionales del Uso Agrícola, cuya misión es la de tecnificar el riego y mejorar la protección de acuíferos, presas, lagos, ríos y manantiales. Lo anterior en función de la importancia del impacto ambiental por el uso de plaguicidas en la actividad agrícola

(Urquiza, 2000), en la que se considera a Veracruz como uno de los estados que requiere atención urgente (Arévila, 1997).

Se sugiere revisar y hacer un balance del esquema de las auditorías ambientales voluntarias, que están dirigidas a las empresas más grandes, quedando fuera las pequeñas empresas (que son las más numerosas) y que generalmente no forman parte de agrupaciones industriales que las mantengan bajo control.

En relación a las certificaciones de calidad como las ISO 14001, en las que México ha logrado que 50 organizaciones certifiquen su Sistema de Gestión Ambiental, se encuentra todavía muy por debajo de países asiáticos, en vías de desarrollo y obviamente por debajo de Estados Unidos y Canadá. Los certificados se han dado en 14 entidades federativas, entre las que no se encuentra Veracruz, los estados de la frontera están fuertemente representados por la industria de exportación (como maquiladoras), en la lista aparecen estados que no son muy industrializados (Tlaxcala y Zacatecas) y no aparecen otros de mayor crecimiento industrial, como Querétaro; la certificación debería extenderse a aquellas entidades o zonas que se consideran prioritarias por CONABIO, y que además tienen problemas de contaminación como Veracruz, para asegurar que sus industrias contaran con certificación.

Los metales por ser tóxicos a determinadas concentraciones se consideran residuos peligrosos, por tal razón se sugiere realizar una evaluación de las instalaciones que manejan residuos peligrosos, las tecnologías utilizadas y el desempeño de sus operarios, así como promover la creación de nuevas instalaciones en aquellas entidades que actualmente no cuentan con ellas. Cabe señalar, que el estado de Veracruz cuenta con diez empresas para la recopilación y transporte, tres de almacén temporal, tres de reciclaje, una de tratamiento y una de incineración de residuos industriales peligrosos (Cortinas, 2001).

Nuestro país carece de normas en las que se establezcan límites máximos permitidos en alimentos, como son los organismos de origen acuático, por lo que está a expensas de los límites que marcan los países importadores, éstos generalmente hacen equivalente la falta de límites a un nivel de tolerancia cero (FAO, 1991). La contaminación de alimentos por metales se debe a un problema del ambiente, y son motivo de preocupación por los riesgos ambientales que implica y porque han dado lugar al rechazo de alimentos en fronteras internacionales (FAO, 1991).

Como puede verse por los límites utilizados en organismos tomados de la FDA y los promedios calculados de diversos países que reporta la FAO, muchos de los problemas que enfrenta el mercado internacional de alimentos es que los países exportadores tienen que adaptarse a la diversa y muchas veces confusa mezcla de normas y reglamentos de los países importadores, por lo que es recomendable el reconocimiento de normas internacionales como el CODEX para eliminar esos obstáculos (FAO, 1991).

En el Golfo de México el ostión capturado o semicultivado no tiene calidad de exportación ni sus áreas de captura están certificadas. En la tarea de inspección de alimentos importados o de exportación participan diversos organismos gubernamentales con poco nivel de organización, y que en consecuencia tienen conflictos entre ellos, por lo que se duplican

esfuerzos, se desperdician recursos y no hay un avance en la exportación de alimentos. Al respecto es necesaria la certificación de la calidad de los productos alimentarios que exigen los países importadores (se estaba implementando en México y su entrada en vigor quedó suspendida), la capacitación para inspectores, personal analista y directivo (FAO, 1991).

IX. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

AGEMIAN, H. and A.S. CHAU, 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals aquatic sediments. *The Analyst*, 101 (1207): 761-767.

ANGUAS, V.B.H., 1978. Algunos aspectos de la biología del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin) de las Lagunas de Mandinga, Veracruz. Tesis para obtener el título de Biólogo. Instituto Politécnico Nacional, 26 pp.

ARÉVILA, A., J. RAMOS y B. JIMÉNEZ, 1997. Evaluación de la contaminación dispersa por agroquímicos en México. *Ingeniería Ambiental*, Enero-marzo, No. 31: 22-32.

ARREGUÍN, S.F., 1978. Contribución al conocimiento de la hidrobiología de las lagunas de Mandinga, Veracruz, México. VI Congreso Nacional de Oceanografía. Ensenada, B.C., México. 10 al 13 de abril de 1978. Unidad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., 80-81.

ATO, G.M. y G.J.J. LÓPEZ, 1994. Fundamentos de estadística con SYSTAT. Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. E.U.A. 630 pp.

ATSDR, 1990. Toxicological profile for copper. U.S. Department of Health & Human Services, 143 pp.

ATSDR, 1992. Toxicological profile for cobalt. U.S. Department of Health & Human Services, 140 pp.

ATSDR, 1994. Toxicological profile for zinc (update). U.S. Department of Health & Human Services, 225 pp.

ATSDR, 1997. Toxicological profile for nickel (update). U.S. Department of Health & Human Services, 262 pp.

ATSDR, 1999a. Toxicological profile for cadmium (update). U.S. Department of Health & Human Services, 397 pp.

ATSDR, 1999b. Toxicological profile for lead (update). U.S. Department of Health & Human Services, 587 pp.

ATSDR, 2000. Toxicological profile for chromium. U.S. Department of Health & Human Services, 419 p.

BERTINI, K.K., J.H. MARTIN, and J.M. TEAL, 1976. Aids to analysis of seawater, In: *Strategies for marine pollution monitoring*. (Edited by E.D. Goldberg). J. Wiley and Sons. 217-253.

BLESSING, A., 1999. Pesticides and human health risk assessment. Policies, processes, and procedures. PPP-48. Purdue Pesticides Program. Purdue University Cooperative Extension Services. www.btny.purdue.edu/PPP/, 84 pp.

BOTELLO, V.A., A. MÁRQUEZ G., PÉREZ-ROJAS A., V. DÍAZ F., A. GARCÍA N., L. CALVA B., O. CASTAÑEDA L., F. CONTRERAS E., M.A. RODRÍGUEZ R., R. TORRES A., S. CASTILLO S., F.E. FLORES Z., A. JUÁREZ A., S. DÍAZ R., M.A. PÉREZ H., J. CHÁVEZ R., E. PERALTA A., O. PÉREZ S., J. RAMOS A., K. DRECKMAN, A. SENTÍES G., G. BARRERA E., A.S. SOBRINO F., I. WONG CH., X. GUZMAN G., F. HERNÁNDEZ G., T. LÓPEZ B. Y F. SAAVEDRA V. 1994. Reporte final del proyecto multidisciplinario: "Evaluación ambiental de las lagunas costeras de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco, Veracruz, para el aprovechamiento y conservación de su biodiversidad. Cátedra Divisional "Dr. Alejandro Villalobos". Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. División Ciencias de la Salud, 98 pp.

BOTELLO, V.A. y F. PÁEZ, 1987. Medio Ambiente en Coatzacoalcos. El Problema Crucial de la Contaminación. Centro de Ecodesarrollo, Vol. 1: 180 pp.

BOTELLO, V.A., J.L. ROJAS-GALAVÍZ, J.A. BENÍTEZ y D. ZÁRATE-LOMELÍ (Eds), 1996. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica 5: 666 pp.

BOTELLO, A.V. y S. VILLANUEVA, 2001. Contaminación de las áreas ostrícolas del Golfo de México. 5º Congreso de Ciencias del Mar. MarCuba. Diciembre.

CANTLE, J.E., 1982. Atomic Absorption Spectrometry. Elsevier. New York, 448 pp.

CESPEDES, 1998. Editorial. Compromiso empresarial con el medio ambiente y el desarrollo sustentable. Agosto/Septiembre, Vol.1(4): 4 pp.

CNA/SEMARNAP, 1998. Los Consejos de Cuenca en México. Definiciones y Alcances. Unidad de Programas Rurales y Participación Social. Coordinación de Consejos de Cuenca, 42 pp.

CNA, 1999. Compendio básico del agua en México. Septiembre, 54 pp.

CONABIO, 1998. Regiones prioritarias marinas de México. Talleres Offset Rebosán. 198 pp.

CONNELL, D.W. and G.J. MILLER, 1984. Chemistry and ecotoxicology of pollution. A John Wiley and Sons-Interscience publication. New York, 444 pp.

CONTRERAS, E.F. y L.M. ZABALEGUI, 1988. Aprovechamiento del litoral mexicano. Centro de Ecodesarrollo/Secretaría de Pesca, 128 pp.

CONTRERAS, E.F. y O. CASTAÑEDA L., 1995. Los ecosistemas costeros del estado de Veracruz. Gob. del Edo. de Veracruz/SEDAP. Plus Ultra Editores. 144 pp.

CORTINAS DE NAVA, C. y S. VEGA G., 1993. Residuos peligrosos en el mundo y en México. Series Monográficas No. 3. Instituto Nacional de Ecología. SEDESOL, 215 pp.

CORTINAS DE NAVA, C., 2001. Los residuos peligrosos en México. Una perspectiva para la reflexión. Notas Revista de Información y Análisis. INEGI, Octubre-diciembre, No. 16: 76-87.

D.O.F., 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA-1993, Bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados. Especificaciones sanitarias. Lunes 6 de marzo, 4-25.

D.O.F. 2000, Carta Nacional Pesquera. Tomo DLXIII, No. 20: 28 Agosto.

ESCALERA, R.S., 1998. Manejo de residuos industriales peligrosos. CESPEDES, Agosto/Septiembre. Vol. 1(4): 18-21.

FAO/OMS, 1991. Conferencia sobre normas alimentarias, sustancias químicas en los alimentos y comercio alimentario. ALICOM, 91/7, 97/15. W/Z6623. Roma, Italia. 18-27 de marzo, 20 pp.

FDA, 1993. Guidance documents for trace elements in seafood. Guidance documents for arsenic, cadmium, chromium, nickel (January), lead (august). www.cfsan.fda.gov/~frf/guid-sf.html

GARCÍA, S.S., 1969. Mortalidad ostrícola en la Laguna de Tamiahua, Ver. y sus relaciones con las perforaciones petroleras. 1965-1966. Tesis profesional. Instituto Politécnico Nacional. ENCB, 65 pp.

GARDUÑO, A.H. y V. ARENAS-F., 2000. Ordenamiento del desarrollo acuícola del Estado de Veracruz. XII Congreso Nacional de Oceanografía. 22-26 mayo del 2000. Huatulco, Oax. Instituto Nacional de la Pesca. SEMARNAP, 238 pp.

GAUDETTE, H.E., W.R. FLIGHT, L. TONER and D.W. FOLGER, 1974. An inexpensive trititation method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediments Petrol.*, 44(1): 249-253.

GONZÁLEZ, F.A., 1995. Evaluación de metales en sedimentos recientes y organismos bentónicos de la Laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, 41 pp.

HAMILTON, E.I., 1980. The chemical laboratory and trace element analysis. In: Element analysis of biological materials; current problems and techniques with special reference to trace elements. Chap. 14. Technical Reports Series No. 197. International Atomic Energy Agency. Vienna, 303-315.

- HAUSCHNIK, P. y F. ESPAÑA, 2002. Eco-eficiencia: elemento esencial para ser más competitivo nacional e internacionalmente. *El ecologista industrial. Revista del Medio Ambiente*. CONIECO. Junio-julio, 18-20.
- HERNÁNDEZ, A.E., 1994. Determinación de metales en agua, sedimento y biota de la laguna de Mandinga, Ver. México. Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. *Ciencias Biológicas y de la Salud*, 34 pp.
- HERNÁNDEZ, V.E., 1996. Estudio de metales tóxicos y esenciales, su biodisponibilidad en sedimentos y organismos en la Laguna de Mandinga, Veracruz, México. Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. *Ciencias Biológicas y de la Salud*, 45pp.
- IAEA/UNEP/FAO/IOC, 1984. Determination of total cadmium, zinc, lead and copper in selected marine organisms by flameless atomic absorption spectrophotometry. *Reference Methods for Marine Pollution Studies*, N°11: Rev. 1.
- IARC, 1997. Cadmium and cadmium compounds (Group 1). monographs.iarc.fr/htdocs/monographs/vol58/mono58-2.htm
- INE, 2000. Instituto Nacional de Ecología: METAS, 2000. SEMARNAP, 62 pp.
- IRIS, 1996. Integrated Risk Informations System. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- IRIS, 1999. Integrated Risk Informations System. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati, OH.
- JENNE, E.A. and S.N. LUOMA, 1975. Forms of trace elements in soils, sediments and associated waters: An overview of their determination and biological availability in biological, implications of metals in the environment. *Proceedings of the 15th Annual Handford Life Sciences Symposium*. Richland, W.A. September 29-October 1, 1975. *Energy Research and Development Administration Symposium Series*, 42, 1977, 110-143.
- JIMÉNEZ, C.B.E., 1995. Bases para el manejo integral de la cantidad y calidad del agua en México. XX Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería. Veracruz, Ver., 14-19.
- JIMÉNEZ, C.B.E. y J.G. RAMOS-HERNÁNDEZ, 1996. Análisis de problemas de cantidad y calidad del agua mediante un método novedoso para evaluar la disponibilidad del recurso. Modalidad: estudio. Mención Honorífica. Federalismo y Desarrollo. Premio Nacional Banobras, 143-155.
- JONNALAGADDA, S.B. and P.V.V. PRASADA RAO, 1993. Toxicity, bioavailability and metal speciation. *Comp. Biochem. Physiol.* Pergamon Press Ltd. Great Britain, Vol. 106 C(3): 585-595.

- KENNISH, M.J., 1992. Ecology of estuaries: Anthropogenic effects. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, U.S., 494 pp.
- LAKSHMANAN, P.T. y P.N.K. NAMBIAN, 1989. Bioaccumulation and depuration of some trace metals in the mussel, *Perna viridis* (Linnaeus). Bull. Environ. Contam., Toxicol. Springer-Verlag, New York Inc. 43: 131-138.
- LIBES, S.M., 1992. An Introduction to marine biogeochemistry. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A., 734 pp.
- LONG, E.R., D.D. MACDONALD, S.L. SMITH and F.D. CALDER, 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Management, Vol. 19(1): 81-97.
- LORING, D.H., 1978. Geochemistry of zinc, copper and lead in the sediments of the estuary and Gulf of St. Lawrence. Can. J. Earth Sci., 15: 757-772.
- LORING, D.H., 1979. Geochemistry of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the estuary and open Gulf of St. Lawrence. Can. J. Earth Sci., 16: 1196-1209.
- LUNA, J.M., J. RENDÓN-VON OSTEN y L. ALPUCHE-GUAL, 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. SAGARPA/Instituto Nacional de la Pesca, 145-154.
- LUOMA, S.N. and E.A. JENNE, 1976. Estimating bioavailability of sediment-bound trace metals with chemical extractants. In: trace substances in environmental health. D.D. Memphill (Ed.) Univ. of Missouri, Columbia. MO., 343-351.
- MALO, B., 1977. Partial extraction of metals from aquatic sediments. Environ. Sci. Technol., 11: 277-282.
- MANDELLI, E.F., 1979. Contaminación por metales pesados. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 10:209-228.
- MARTINČIĆ, D., H.W. NÜREMBERG and M. BRANICA, 1986. Bioaccumulation of heavy metals by bivalves from Limski Kanal (North Adriatic Sea). Marine Chemistry, 18: 299-319.
- MEJÍA, M.E., S.S. VOLANTÍN-ROBLES y A. TALAVERA-RODARTE, 2000. Políticas de normalización del sector agua 2000-2020. XII Congreso Nacional 2000. Ciencia y Conciencia. FEMISCA/AIDIS, Marzo 21 al 24. Morelia, Mich. Año 1, No. 1: 177-182.
- MOODY, J.R. and R.M. LINDSTROM, 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. Analytical Chemistry, 49: 2264-2267.
- NAUEN, C.E., 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FIRI/C764, Rome, FAO Fisheries Circular No. 764: 10-100.

OCDE, 1998. Análisis del desempeño ambiental. México. Perspectivas OCDE.

O'CONNOR, T.P., 1996. Trends in chemical concentrations in mussels and oysters collected along the US Coast from 1986 to 1993. *Marine Environmental Research*, Vol. 41(2): 183-200.

OSTIMEX, 1996. Síntesis conceptual en materia de impacto ambiental para el trámite de una concesión de cultivo de ostión de alto rendimiento en la Laguna de Mandinga, Ver. Documento elaborado por Ostimex, S.A. de C.V. para la Soc. Coop. "Desarrollo acuícola, S.C.L."

PÁEZ-OSUNA, F., 1988. Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortés. Tesis Doctoral. UACPYP-CCH. ICMYL-UNAM

RAMOS, G.R., 2001. Tablas de talla y peso. Diccionario de especialidades farmacéuticas. Ediciones PLM, S.A. de C.V. México.

RAZ-GUZMÁN, A., G. DE LA LANZA y L.A. SOTO, 1992. Caracterización ambiental y $\delta^{13}\text{C}$ del sedimento, detrito y vegetación del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. *Rev. Biol. Trop.*, 40(2): 215-225.

REGOLI, F. y E. ORLANDO, 1994. Bioavailability of biologically detoxified lead: risks arising from consumption of polluted mussels. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 102, Supplement 3: 335-340.

REGUERO, M. y A. GARCÍA-CUBAS, 1989. Moluscos de la Laguna de Alvarado: Sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM*, Contribución No. 664: 32 pp.

RENDÓN, V.O.J., L.F. CARRERA-PARRA y J. GARCÍA-GUZMÁN, 1995. Necesidades de un sistema de monitoreo ambiental en el complejo lagunar de Alvarado, Veracruz, México, JAINA, Oct-dic. Boletín informativo Vol. 6(4): 14-15.

RODRÍGUEZ, C.A.P., 1994. Evaluación de metales en sedimentos, agua y biota de las lagunas Salada, El Llano y La Mancha Veracruz, México. Facultad de Ciencias. Biología, UNAM, 99 pp.

ROSALES-HOZ, L., A. CARRANZA-EDWARDS y U. ÁLVAREZ-RIVERA, 1986a. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, UNAM, 13(3):19-28.

ROSALES-HOZ, L., A. CARRANZA-EDWARDS y U. ÁLVAREZ-RIVERA, 1986b. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan river México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, UNAM, 13(3): 263-272.

SADIQ, M., 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker, Inc. U.S., 390 pp.

SAGARPA, 2000. Anuario Estadístico de Pesca. Dirección General de Política y Fomento Pesquero y Dirección de Comunicación Social, 271 pp. En imprenta.

SAGARPA, 2001. Anuario Estadístico de Pesca. Dirección General de Política y Fomento Pesquero y Dirección de Comunicación Social, www.sagarpa.gob/pesca

SÁMANO, C.J., 2000. Sistemas de aseguramiento de calidad ISO 9000 en la gestión integral del agua. XII Congreso Nacional 2000. FEMISCA/AIDIS. 21-24 de marzo, Morelia, Mich., Tomo I, 238-244.

S.A.R.H., 1981. Estudio de la calidad del agua y su evaluación para la certificación sanitaria en zonas de explotación de los recursos marinos y lacustres: Lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Alvarado. Tomo I Laguna de Tamiahua, Veracruz. Subsecretaría de Planeación. Dir. Gral. de Protección y Ordenación Ecológica. Subdirección de Ingeniería, 120 pp.

SEMARNAP, 1996. NOM-001-ECOL-1996. Gaceta Ecológica INE-SEMARNAP, No. 41: 82-93.

SCHULER, L.J., J.P. HOWELL AND M.G. HEAGLER. 2000. Mercury concentrations in Louisiana and Chinese crayfish. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 64: 27-32.

S.R.H., 1972. Hidrografía de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Estudio de los aspectos biológicos. Dirección General de Grande Irrigación y Control de Ríos. Dirección de Acuicultura. Consultores y Contratistas en Oceanografía, S.A., 154 pp.

S.R.H., 1973. Estudio ecológico de la Laguna de Alvarado. Primera Etapa. Noviembre. Subsecretaría de Planeación. Dir. Gral. de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Contaminación del Agua. CIFSA Consultores, 341 pp.

SOBRINO-FIGUEROA, A.S., 2001. Efectos de los metales cadmio, cromo, plomo y sus mezclas en la almeja catarina *Argopecten ventricosus* (Sowerby, 1842), (Bivalvia, Pectinidae). Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Marinas. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. CICIMAR-IPN, 320 pp.

SOTO, F.J., 2000. Los estudios de impacto ambiental como medio para conocer la contaminación del ambiente. XII Congreso Nacional 2000. Ciencia y Conciencia. FEMISCA/AIDIS. Marzo 21 al 24. Morelia, Mich., Año 1, No. 1: 1697-1706.

TEOREMA AMBIENTAL, 2002. Agua contaminada al Golfo de México. Tierra, Diciembre-enero, 6-7.

TREFRY, J.H., K.L. NAITO, R.P. TOCINE and S. METZ, 1995. Distribution and bioaccumulation of heavy metals from produced water discharges to the Gulf of Mexico. Wat. Sci. Tech., Great Britain, Vol. 32(2): 31-36.

- URQUIZA, S.J. y J.R. ROSALES-JAYME, 2000. Las cuencas hidrológicas y la cultura. XII Congreso Nacional 2000. Ciencia y Conciencia. FEMISCA/AIDIS, Marzo 21 al 24, Morelia, Mich., Tomo I, Año 1, No. 1: 78-92.
- VARGAS, R.M. y A.S. SOBRINO-FIGUEROA, 2002. Evaluación de la toxicidad en sedimentos recientes de la Laguna de Mandinga, Ver. Servicio Social. UAM-Iztapalapa, 40 pp.
- VÁZQUEZ, G.F., D. AGUILERA and A. MÁRQUEZ, 1990. Trace and heavy metals in the oyster *Crassostrea virginica*, San Andres Lagoon, Tamaulipas, Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 45: 907-914.
- VÁZQUEZ, G.F. and V. K. SHARMA, 1996. Trace metals in the oyster, *Crassostrea rhizophora*, from the Laguna de Terminos of Campeche, Mexico. Texas J. Sci., 48(4): 261-266.
- VÁZQUEZ, G.F., V.K. SHARMA, V.R. MAGALLANES and A.J. MARMOLEJO, 1999. Heavy metals in a coastal lagoon of the Gulf of Mexico. Marine Pollution Bulletin, Vol. 38(6): 479-485.
- VILLANUEVA, F.S., 1987. Evaluación de metales pesados en los sedimentos y organismos del Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Zaragoza", UNAM, 82 pp.
- VILLANUEVA, F.S. y A.V. BOTELLO, 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión. Rev. Int. Contam. Ambient., 8(1), 47-61.
- VILLANUEVA, F.S. y A.V. BOTELLO, 1998. Metal Pollution in Coastal Areas of Mexico. Rev. Environ Contam. Toxicol., 157: 53-94.