



---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

Determinación de algunos metales pesados en *Mugil curema* Valenciennes, 1836 y  
sedimentos de Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopía de  
absorción atómica

*TESIS*

*QUE PARA OBTENER EL GRADO DE*

DOCTOR EN CIENCIAS  
EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

**PRESENTA:**

**María Alejandra López Jiménez**

**Director de tesis: Dr. William Scott Monks**  
**Codirector: Dr. Arturo Serrano Solís**

**MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO**

**2012**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA  
DOCTORADO EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

M. EN A. JULIO CESAR LEINES MEDÉCIGO  
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
PRESENTE

Por este conducto le comunico que, después de revisar el trabajo titulado "Determinación de algunos metales pesados en *Mugil curema* Valenciennes, 1836 y sedimentos de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopia de absorción atómica", que presenta la alumna del Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación, M. en C. María Alejandra López Jiménez, el Comité Revisor de tesis ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Comité Revisor.

PRESIDENTE: Dra. Griselda Pulido Flores

SECRETARIO: Dr. Arturo Serrano Solís

VOCAL: Dr. William Scott Monks Sheets

SUPLENTE: Dr. Juan Carlos Gaytán Oyarzún

Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"  
Mineral de la Reforma, Hgo., a 22 de marzo del 2012.

DR. ORLANDO ÁVILA POZOS  
Director I.C.B.I.



## AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por las facilidades otorgadas para realizar este posgrado y la beca de posgrado nacional No. 217722.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) por su disposición académica para la realización de este posgrado.

A la Universidad Veracruzana (UV) por darme la oportunidad de superarme académicamente y por las facilidades en cuanto a infraestructura para el desarrollo de este proyecto de investigación.

Al M.C. Domingo Canales Espinosa, Director General del Área Biológico Agropecuaria, de la Universidad Veracruzana, gracias por su apoyo para la realización de este posgrado.

A Dr. Pablo Elorza Martínez, Director de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias - Campus Tuxpan, mi agradecimiento por todas las facilidades brindadas para desarrollar el posgrado.

A mi Comité Tutorial:

Mi director de Tesis, Dr. William Scott, Codirector Arturo Serrano Solís, Dra. Griselda Pulido Flores y Dr. Juan Carlos Gaytán Oyarzún, que supieron transmitirme sus valiosos conocimientos y sus invaluable experiencias y que tuvieron a bien orientarme para llevar a buen término este interesante posgrado. Les agradezco infinitamente sus consejos y paciencia que tuvieron para conmigo.

A todas las personas que contribuyeron apoyándome en este largo camino

***¡¡GRACIAS!!***

A Dios por siempre estar a mi lado, darme la vida y la oportunidad de estar aquí.

A mi esposo

Porque siempre ha estado en el camino a mi lado apoyándome en cualquier situación para lograr mis retos.

Te amo

A mis hijos:

Koki, Kako y Alexis

Porque siempre estuvieron conmigo, apoyando con su tolerancia y paciencia, espero devolverles cada momento que no compartí con ustedes.

Los amo

Alexa

Porque tu existencia ha traído a mi vida mucha felicidad

A mi familia por creer en mí una vez más.

A todos mis amigos

***¡¡Gracias!!***

## INDICE GENERAL

	Pág.
I. RESUMEN.....	XI
II. INTRODUCCIÓN.....	1
II.1 Contaminación de los ecosistemas costeros.....	2
II.2 Cinética y Efectos de los Metales Pesados Cr, Ba, Pb, Cd, Cu y Hg en la salud y el ambiente acuático.....	12
II.2.1 Cromo (Cr).....	13
II.2.2 Bario (Ba).....	14
II.2.3 Plomo (Pb).....	15
II.2.4 Cadmio (Cd).....	15
II.2.5 Cobre (Cu).....	16
II.2.6 Mercurio (Hg).....	16
II.3 Factores fisicoquímicos que inciden en la acumulación y disponibilidad de los metales pesados.....	18
III. ANTECEDENTES.....	19
IV. JUSTIFICACIÓN.....	30
V. OBJETIVOS.....	31
V.1 Objetivo general.....	31
V.2 Objetivos particulares.....	31
VI. ÁREA DE ESTUDIO.....	32
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
VII.1 Trabajo de Laboratorio.....	36
VII.2 Trabajo de gabinete.....	37

<b>VIII. RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>VIII.1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos de la laguna de Tampamachoco, durante los catorce meses de muestreo.....</b>	<b>38</b>
<b>VIII.1.1 Temperatura.....</b>	<b>38</b>
<b>VIII.1.2 pH.....</b>	<b>39</b>
<b>VIII.1.3 Salinidad.....</b>	<b>40</b>
<b>VIII.1.4 Conductividad eléctrica.....</b>	<b>41</b>
<b>VIII.2 Metales pesados en sedimentos.....</b>	<b>42</b>
<b>VIII.2.1 Plomo (Pb).....</b>	<b>42</b>
<b>VIII.2.2 Cromo (Cr).....</b>	<b>45</b>
<b>VIII.2.3 Cadmio (Cd).....</b>	<b>47</b>
<b>VIII.2.4 Bario (Ba).....</b>	<b>48</b>
<b>VIII.2.5 Cobre (Cu).....</b>	<b>50</b>
<b>VIII.2.6 Mercurio (Hg).....</b>	<b>52</b>
<b>VIII.3 Metales pesados en tejidos de <i>Mugil curema</i>.....</b>	<b>54</b>
<b>VIII.3.1 Plomo (Pb).....</b>	<b>54</b>
<b>VIII.3.2 Cromo (Cr).....</b>	<b>57</b>
<b>VIII.3.3 Cadmio (Cd).....</b>	<b>60</b>
<b>VIII.3.4 Bario (Ba).....</b>	<b>63</b>
<b>VIII.3.5 Cobre (Cu).....</b>	<b>66</b>

VIII.3.6 Mercurio (Hg).....	66
VII.4 Análisis estadístico.....	71
VII.4.1 Análisis paramétricos en sedimentos y tejidos.....	71
VII.4.2 Análisis no paramétricos de componentes principales de sedimentos y tejidos.....	72
VII.4.2.1 Análisis de Componentes Principales para la base de datos de los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado en 14 meses de muestreo y 22 variables.....	77
VII.4.2.2 Análisis de Componentes Principales para la base de datos de sedimentos en los cuatro sitios de colecta para 14 meses de muestreo, con 10 variables.....	81
VIII. DISCUSIONES.....	86
IX. CONCLUSIONES.....	96
X. SUGERENCIAS.....	99
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Págs.
Fig.1	Macro y micro localización de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	33
Fig. 2	Registro de temperatura del sedimento de las cuatro estaciones de muestreo de enero 09 a febrero 2010.	39
Fig. 3	Registro de pH del sedimento de las cuatro estaciones de muestreo de enero 09 a febrero 2010.	40
Fig. 4	Registro de la salinidad en los sedimentos de las cuatro estaciones de muestreo de enero del 2009 a febrero del 2010.	41
Fig. 5	Registro de la conductividad eléctrica de sedimentos de las cuatro estaciones de muestreo de enero 09 a febrero del 2010.	42
Fig. 6	Concentración promedio de Pb mg/kg (BS) en sedimentos, por épocas climáticas de los sitios muestreados en la Laguna de Tampamachoco.	45
Fig. 7	Concentración de Cr (mg/kg) en sedimentos por épocas climáticas de los sitios muestreados en la Laguna de Tampamachoco.	47
Fig. 8.	Concentración de Ba (mg/kg) en sedimentos por épocas climáticas de los sitios muestreados en la Laguna de Tampamachoco.	50
Fig. 9	Concentración de Cu (mg/kg) en sedimentos por épocas climáticas de los sitios muestreados en la Laguna de Tampamachoco.	52
Fig. 9a	Concentraciones promedio de metales en sedimentos	53



<b>Fig. 10</b>	<b>Concentración de Pb (mg/kg) por épocas climáticas del año, en tejidos de <i>Mugil curema</i>.</b>	<b>56</b>
<b>Fig. 11</b>	<b>Concentraciones promedio de Pb en tejidos de <i>Mugil curema</i> de la Laguna de Tampamachoco.</b>	<b>57</b>
<b>Fig. 12</b>	<b>Concentración de Cr (mg/kg) por épocas climáticas del año en tejidos de <i>Mugil curema</i></b>	<b>59</b>
<b>Fig. 13</b>	<b>Concentraciones promedio de Cr en tejidos de <i>Mugil curema</i> de la Laguna de Tampamachoco</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 14</b>	<b>Concentración promedio de Cd (mg/kg) por épocas climáticas del año en tejidos de <i>Mugil curema</i></b>	<b>62</b>
<b>Fig. 15</b>	<b>Concentraciones promedio de Cd en tejidos de <i>Mugil curema</i> de la Laguna de Tampamachoco.</b>	<b>63</b>
<b>Fig. 16</b>	<b>Concentración de Ba (mg/kg por épocas climáticas del año en tejidos de <i>Mugil curema</i>.</b>	<b>65</b>
<b>Fig. 17</b>	<b>Concentraciones promedio de Ba en tejidos de <i>Mugil curema</i> de la Laguna de Tampamachoco.</b>	<b>66</b>
<b>Fig. 18</b>	<b>Concentración de Cu (mg/kg) por épocas climáticas del año en tejidos de <i>Mugil curema</i>.</b>	<b>68</b>
<b>Fig. 19</b>	<b>Concentraciones promedio de Cu en tejidos de <i>Mugil curema</i> de la Laguna Tampamachoco.</b>	<b>69</b>
<b>Fig. 19a</b>	<b>Concentraciones promedio de metales en tejidos.</b>	<b>70</b>
<b>Fig. 20</b>	<b>Posición en el espacio de los OTUS de los tejidos en los catorce meses de muestreo.</b>	<b>79</b>
<b>Fig. 21</b>	<b>Posición en el espacio de los OTUS de los sedimentos en los catorce meses de muestreo.</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

		Págs.
Cuadro.1	Comportamiento fisicoquímico de la laguna de Tampamachoco, Veracruz.	38
Cuadro.2	Concentración promedio de Pb en sedimentos de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo Enero 2009-Febrero 2010.	43
Cuadro.3	Concentración promedio de Cr (mg/kg) de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo Enero 2009-Febrero 2010.	46
Cuadro. 4	Concentración promedio de Cd (mg/kg) de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo Enero 2009-Febrero 2010.	48
Cuadro. 5	Concentración promedio de Ba (mg/kg) de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo Enero 2009-Febrero 2010.	49
Cuadro. 6	Concentración promedio de Cu (mg/kg) de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo Enero 2009-Febrero 2010.	51
Cuadro. 7	Concentración promedio de Hg (mg/kg) de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo Enero 2009-Febrero 2010.	53

Cuadro. 8	Concentración mensual de plomo (mg/kg) de enero 09- febrero 10 en diferentes tejidos de <i>Mugil curema</i> .	55
Cuadro. 9	Concentración mensual de Cr (mg/kg) de Enero 09- Febrero 10 en diferentes tejidos de <i>Mugil curema</i> .	58
Cuadro. 10	Concentración mensual de Cd (mg/kg) de Enero 09- Febrero 10 en diferentes tejidos de <i>Mugil curema</i> .	61
Cuadro. 11	Concentración mensual de Ba (mg/kg) de Enero 09- Febrero 10 en diferentes tejidos de <i>Mugil curema</i> .	64
Cuadro. 12	Concentración mensual de Cu (mg/kg) de Enero 09- Febrero 10 en diferentes tejidos de <i>Mugil curema</i> .	67
Cuadro. 13	Concentración mensual de Hg (mg/kg) de Enero 09- Febrero 10 en diferentes tejidos de <i>Mugil curema</i> .	70
Cuadro. 14	<b>OTUS considerados en el análisis de tejidos</b>	74
Cuadro. 15	<b>OTUS considerados en el análisis de sedimentos.</b>	76
Cuadro. 16	Porcentaje de la variación acumulada en los tres primeros componentes para los 56 OTUS y 22 variables	77
Cuadro. 17	Coefficiente de cada variable en los tres primeros componentes principales de la matriz básica de datos de tejidos con 56 OTUS y 22 variables.	80
Cuadro. 18	Porcentaje de la variación acumulada en los tres primeros componentes para los 56 OTUS y 10 variables.	82
Cuadro. 19	Coefficiente de cada variable en los primeros tres componentes principales de la matriz básica de datos de sedimentos con 56 OTUS y 9 variables.	84

## I. RESUMEN

La laguna de Tampamachoco se ubica en la porción occidental de la costa del Golfo de México, al norte del estado de Veracruz. Ciertos estudios llevados a cabo en esta laguna reportan la presencia de metales pesados en este cuerpo de agua, algunos de ellos dentro de límites permisibles por la normatividad aplicable y otros que los rebasan. En este trabajo de investigación, mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica, se determinó la presencia de los metales; Cromo, Bario, Plomo, Cadmio, Cobre y Mercurio en sedimentos del fondo de la laguna y en ejemplares *Mugil curema* Valenciennes, 1836 y se consideró como límites permisibles, los establecidos en la norma oficial mexicana NOM-117-SSA1-1994. También se determinaron los parámetros físicos y químicos de ciertos sedimentos, obteniendo como resultado de esto, la determinación de promedios anuales de temperatura 26.20°C, pH 7.47, conductividad eléctrica 39.59 mS/cm y salinidad 26.33 UPS. Estos parámetros pueden incidir en el grado de toxicidad de los metales presentes en los sedimentos y tejidos del organismo en estudio. Por otra parte, se registraron en sedimentos valores de Pb, Cr, Ba y Cu, superiores tanto a los límites permisibles de 0.2 y 0.5 mg/kg establecidos por la NOM- ECOL-001-1996, como los 0.05 y 0.003 mg/kg emitidos por CECA para la protección de la vida acuática. Durante este estudio no se detectaron Cd y Hg en sedimentos. En los tejidos el Pb y el Ba superaron el límite permisible ya que rebasan los 0.5 mg/kg que establece la NOM-242-SSA-1-2009, el Cr superó el 1 mg/kg establecido por la oficina de Gobierno de Hong Kong, el Cu estuvo por debajo de los 32.5 mg/kg indicados por la FAO.

Palabras clave: metales pesados, *Mugil curema*, sedimentos, Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

## 1. SUMMARY

Tampamachoco Lagoon is located in the western portion of the Gulf of Mexico, north of the state of Veracruz. Studies carried out in this lagoon report the presence of heavy metals in this water body, some of them within allowable limits by the applicable regulations, and others raise over the limits. In this research, using the technique of atomic absorption spectrometry, it was determined the presence of metals, chromium, barium, lead, cadmium, copper and mercury in bottom sediments of the lagoon and some kinds of *Mugil curema* Valenciennes, 1836 and was considered permissible limits established by the Mexican Official Standard NOM-117-SSA1-1994. It was also assessed the physical and chemical parameters of certain sediments, obtaining as a result, the determination of annual average temperature 26.20 ° C, pH 7.47, electrical conductivity 39.59 mS/cm and salinity 26.33 UPS. These parameters can influence the toxicity of metals in sediments and tissues of the studied organism. On the other hand, recording in sediments values of Pb, Cr, Ba and Cu higher than the permissible limits of 0.2 and 0.5 mg/kg established by NOM-ECOL-001-1996 and also of 0.05 and 0.003 mg/kg emitted by CECA for the protection of aquatic life. During this research Cd and Hg were not detected in any sediment. In tissues the Ba and Pb exceeded the permissible limit because they exceeded 0.5 mg/kg established by NOM-242-SSA-1-2009, the Cr exceeded 1 mg/kg established by the Office of Government of Hong Kong , the Cu was below 32.5 mg/kg reported by FAO.

Keywords: Heavy metals, *Mugil curema*, sediments, Tampamachoco Lagoon, Veracruz.

## II.-INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las lagunas costeras son consideradas como ambientes de alta productividad y una elevada riqueza en biodiversidad. Están situadas a lo largo del litoral que en la mayoría de los casos tienen una comunicación permanente con el mar como es el caso de la laguna de Tampamachoco, Veracruz (Portilla, 2005). Biológicamente, la zona costera y marina del Golfo de México representa una región de gran valor ecológico y económico para México ya que tiene una gran diversidad de ecosistemas marinos y recursos naturales (Kumpf *et al.*, 1999).

En los últimos 200 años, el ambiente se ha ido contaminando visiblemente, como resultado de las actividades del hombre. Muchas sustancias llegan al ecosistema acuático procedentes de residuos industriales, agrícolas o domésticos en grandes cantidades. La contaminación ambiental es generalizada en los países industrializados y en desarrollo, resultando en la contaminación de la tierra, el agua, los sedimentos y el aire con el que todos los organismos vivos interactúan (Barlas *et al.*, 2005). Esta problemática ha provocado el descenso de la pesca en estos sistemas acuáticos confirmando con ello que todas las lagunas costeras estén impactadas por el hombre.

El propósito de este estudio fue el de identificar y cuantificar las variables fisicoquímicas, la distribución espacio-temporal de metales pesados para determinar su presencia en sedimentos así como en tejidos y órganos de *Mugil curema* (lebrancha) de la laguna de Tampamachoco, Veracruz y la correlación entre los parámetros fisicoquímicos y las concentraciones de metales pesados en sedimentos y tejidos, para contribuir a su conocimiento ecotoxicológico.

## II.1 Contaminación de los ecosistemas costeros

. Las lagunas costeras definidas en 1977 por Lankford, como cuerpos acuáticos semicerrados y situados por debajo del nivel máximo de las mareas más altas, separadas del mar por algún tipo de barrera y con el eje mayor paralelo a la línea de costa, son el resultado de dos tipos de agua (la del mar y la de los ríos), de diferentes características, por lo cual hace que el agua sea salobre. Esta característica se llama estuarina por lo que se manifiesta un comportamiento ecológico muy especial y propio de cada laguna, lo que causa peculiares fenómenos en su comportamiento físico, químico y biológico con las consecuentes pautas ecológicas (Contreras y Castañeda, 2004). Estas masas acuíferas conforman ecosistemas con una elevada productividad potencial, donde la energía disponible es mayor comparada con los otros sistemas acuáticos, ya que perciben subsidio energético que aunado a los procesos biológicos fundamentales en estos sistemas. Esta energía se diversifica en: a) la abundancia de la biota local, b) una notable exportación de materiales biogénicos hacia la zona costera adyacente, ésta debido al intercambio mareal y c) va a existir una retención significativa de nutrimentos y materia orgánica en los sedimentos (Portilla, 2005).

En (SEMARNAT, 2008) se menciona que los sitios contaminados pueden definirse como aquellos lugares donde ha habido depósito, enterramiento o vertido de sustancias químicas o residuos, vinculados a actividades industriales, comerciales, agrícolas o domésticas.

Entre las principales causas que pueden provocar la contaminación de un sitio están: a) la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos y residuos de manejo especial en terrenos baldíos, bodegas, almacenes y patios de las industrias; b) fugas de materiales o residuos peligrosos (RP) de tanques y contenedores subterráneos, tuberías y ductos, así como de alcantarillados y drenajes industriales o públicos; c) lixiviación de materiales en sitios de almacenamiento y donde se desarrollan actividades productivas, o bien, de rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto; d) derrames accidentales de sustancias químicas durante su transporte; e) aplicación de sustancias químicas

potencialmente tóxicas en el suelo, instalaciones y edificaciones; y f) la descarga de aguas residuales que contienen RP y sustancias químicas potencialmente tóxicas sin tratamiento previo.

Los cambios en los ecosistemas costeros en la tasa de producción primaria son un indicador del estado trófico de los ecosistemas acuáticos y han sido uno de los principales indicadores de su salud (Herrera *et al.*, 2002). En las últimas décadas se han realizado investigaciones pesqueras donde se ha demostrado que los factores ambientales, fundamentalmente las lluvias asociadas a los factores generados por el hombre, ya sea por el represamiento de ríos y el deterioro de los sistemas lagunares han tenido fuerte repercusión en todas las especies (González y Ortiz, 2002; Sosa, 2004).

En México se tiene un registro de 124 lagunas costeras (Contreras, 1983) la mayoría de ellas están rodeadas de bosques de manglar y extensiones de popales, tulares y asociaciones vegetales similares, lo que incrementa su importancia en la diversidad de organismos (Portilla, 2005).

La zona costera mexicana es de importancia económica porque es una fuente significativa de alimentos; entre las especies más comunes de consumo en las lagunas costeras mexicanas se encuentran: *Ariopsis felis* Linnaeus, 1766 (bagre boca chica), *Cathrops melanopus* Günther, 1864 (bagre prieto), *Centropomus paralielus* Poey, 1860 (robalo), *Anchrosargus probatocephalus* Walbaum, 1792 (el sargo), *Mugil curema* Valenciennes, 1836 (lebrancha) *Eucinostomus gula* Quoy & Gaimard, 1824, *Eugerres plumieri* Cuvier, 1830 y *Diapterus rhombeus* Cuvier, 1829 (mojarra), *Bairdiella chrysoura* Lacepède, 1802 (ronco) (Toledo, 2005). Esta zona económicamente importante se encuentra seriamente amenazada por la contaminación generada por las actividades del hombre.

La contaminación marina y costera más conspicua proviene de las descargas de aguas residuales municipales, debido a la ausencia o ineficiencia de plantas de tratamiento de agua en las grandes ciudades de la región. La descarga directa de aguas residuales ha



dado como resultado condiciones potencialmente peligrosas para la salud humana y el ambiente marino. En las costas del territorio nacional en el Golfo de México prácticamente todas las poblaciones costeras descargan sus desechos domésticos en los ríos, estuarios, lagunas costeras y el mar sin ningún tratamiento previo (Botello *et al.*, 1996).

Como consecuencia las lagunas costeras del Golfo de México se encuentran altamente presionadas, detectándose la presencia de metales pesados, compuestos orgánicos persistentes e hidrocarburos, en los sedimentos de los principales sistemas lagunares costeros de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche.

La industria petroquímica en México se ha desarrollado aceleradamente, generando graves problemas ambientales, derivados de emergencias ambientales, con graves repercusiones a la salud de la población y al equilibrio ecológico de los ecosistemas. La siderúrgica, la industria del papel, y productos químicos, las de plásticos, fertilizantes, cementos y otras emiten grandes cantidades de desechos contaminantes, entre ellos los metales pesados (Codina y Pérez, 2003). Los metales pesados, frecuentemente en cantidades de trazas, ocupan una posición única porque ellos tienen un origen elemental (en su forma original en la naturaleza) y, por lo cual, no pueden ser descompuestos posteriormente. Una vez depositados, los metales pesados permanecerán en el ambiente prácticamente sin ningún cambio cualitativo (Flores, 1987).

Para México, con sus 9,903 kilómetros de litorales, la zona costera reviste una singular importancia, ya que además de los recursos energéticos y minerales que posee, representa también una fuente significativa de alimentos y fármacos. En este marco, las organizaciones ambientalistas a nivel internacional recomiendan la protección y un manejo sustentable de estos ecosistemas (Gelin *et al.*, 2006). Sin embargo, en la actualidad, las bahías, estuarios y lagunas costeras del país encaran serios problemas de contaminación, los cuales producen daños considerables a los organismos que los habitan (Vásquez y Páez, 1986). Existen varias clases de contaminantes como el DDT, los PCBs y otros más que junto con los metales pesados son depositados a los océanos y mares, generalmente por medio de las sustancias y productos desechados por el hombre (Harte *et al.*, 1991; Espinosa

y Vanega, 2005). Los ríos constituyen una de las principales vías de transporte de metales a las zonas costeras, debido a la gran afinidad que tienen estos elementos para ser transportados en el material suspendido (Guillen, 1982; Mogollón y Bifano, 1985; Zhang, 1922; En Acosta *et al.*, 2002). Así, las costas con influencia de ríos constituyen uno de los ecosistemas más sensibles a ser afectados, ya que los metales, al entrar en contacto con la zona marina, sufren procesos que, junto con algunos factores ambientales permiten su acumulación en los sedimentos (Acosta *et al.*, 2002).

La presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, ya sea en aguas continentales o en aguas marinas, es un hecho constatado a nivel mundial, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. El trabajo que realizaron Acosta *et al.* (2002) fue una revisión exhaustiva de los estudios publicados sobre la genotoxicidad de los sedimentos en los ríos, lagos y los hábitats y determinaron que la presencia de contaminantes como lo son los metales pesados al entrar en contacto con la zona marina, sufren procesos que, junto con algunos factores ambientales permiten su acumulación en los sedimentos y su biodisponibilidad tiene influencia directa sobre especies acuáticas que al acumularlos en altas concentraciones manifiestan efectos crónicos en sus poblaciones marinas.

La existencia de estos sedimentos contaminados es debido a los vertidos incontrolados en los procesos industriales y a la utilización de productos agroquímicos metálicos que van a parar a los sedimentos una vez transportados desde zonas agrícolas por las aguas (González-Lozano *et al.*, 2006). A nivel mundial, se utilizan unos 63,000 productos químicos y cada año se añaden aproximadamente 1,000 más; entre ellos están los organoclorados, los pesticidas, herbicidas con enfoque en los metales pesados como el Pb, el Hg, el Cd, el Zn y otros (Cawardine *et al.*, 2006).

Los sedimentos en sistemas acuáticos, tanto de agua dulce como marina, son matrices complejas dinámicas compuestas de materia orgánica en diversos estados de descomposición, material particulado que varía en tamaño y composición química, así como material de origen biológico y antropogénico. Numerosos contaminantes están

asociados a depósitos finos ricos en materia orgánica: la manera en como dichos contaminantes interactúan con los depósitos, determinan su destino ambiental, biodisponibilidad y su toxicidad (Chen y White, 2004). Este tipo de contaminantes han causado efectos nocivos en la biota que habitan los ecosistemas costeros y han repercutido en la salud pública, en este caso los metales pesados por su inclusión en la cadena alimenticia (Shrivastava *et al.*, 2003).

Se menciona también que los metales presentes se unen al material de los sedimentos, especialmente a la materia orgánica y que cuando se encuentran unidos a la misma, pueden retornar del medio acuático al disociarse como iones libres y participar en reacciones de intercambio catiónico con minerales vivos, dependiendo de las condiciones de pH, fuerza iónica, temperatura y en algunos casos, por presencia de ciertos cationes o aniones específicos (Leal *et al.*, 2009). Otros estudios realizados por (Díaz Vargas *et al.*, 2005), realizaron la caracterización de algunos parámetros fisicoquímicos del agua y sedimentos en el lago Zempoala, Morelos, en donde encontraron que los parámetros físicos y químicos del agua, no presentaron diferencias significativas, sin embargo, se observaron claras particularidades entre la zona litoral y fondo, sobre todo en la temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto y bióxido de carbono, relacionado directamente con cada zona evaluada.

Un factor importante es el pH, el cual puede detectarse bajo ciertas circunstancias en la mezcla de aguas dulces y marinas. En ambientes costeros la variación diurna puede señalar un ciclo en función de la respiración nocturna (pH ácido) y la fotosíntesis matutina (pH alcalino). A medida que aumenta la profundidad de las lagunas la disminución progresiva del potencial redox provoca que algunos metales vuelvan a asociarse a la fase sólida del sedimento, principalmente precipitando como sulfuros insolubles y asociándose a óxidos-hidróxidos de Fe y Mn ya existentes. Al aumentar la profundidad en las lagunas, suele producirse también un aumento del pH que favorece la adsorción sobre el sedimento. (Bourg, 1983; Gaillard *et al.*, 1986; Ponce *et al.*, 2000).

Uno de los peligros más difíciles de afrontar hoy en día es la contaminación marina por metales pesados; que en concentraciones pequeñas pueden causar intoxicaciones o enfermedades a los organismos.

La idiosincrasia de los gobiernos es que consideran a los océanos como depósitos para desechos de residuos tóxicos que son generados por las civilizaciones. Estos restos incluyen los residuos industriales, productos químicos agrícolas, aguas negras sin tratar, residuos radioactivos, aceites, petróleo, restos de plásticos y otros contaminantes (Cawardine *et al.*, 2006). Hecho preocupante ya que la cantidad de contaminantes que se vierten a los océanos pueden ocasionar serios daños irreversibles sobre los ecosistemas marinos (Botello y Páez-Osuna, 1986). Estudios realizados comprueban que la mayoría de los contaminantes son transportados por los ríos que son removidos y depositados en las márgenes oceánicas tales como los estuarios, la plataforma y la pendiente continental (Espina y Vanega, 2005). Numerosas investigaciones han demostrado que diversos productos químicos en el río y las aguas marinas inmovilizan, matan, inhiben el crecimiento, o reducen la reproducción de los organismos acuáticos (Murano *et al.*, 2007).

El Golfo de México es una cuenca marítima contenida entre los litorales de México, Estados Unidos de América y Cuba. En el territorio nacional está rodeado por cinco estados (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán) y se extiende desde la costa noreste del país aproximadamente hasta la Isla Holbox, en el punto norte de la Península de Yucatán, donde se mezcla con las aguas caribeñas. En Estados Unidos, los estados con costas en este son Florida, Alabama, Misisipi, Luisiana y Texas; mientras que la isla de Cuba ocupa en la parte oriental del golfo la salida de éste hacia el océano Atlántico. En esta costa existe un gran desarrollo en actividades petroleras, portuarias, industriales, acuícolas, turísticas, agrícolas, ganaderas, forestales y de urbanización. Biológicamente, la zona costera y marina del Golfo de México representa una región de gran valor ecológico y económico para México ya que tiene una gran diversidad de ecosistemas marinos y recursos naturales (Kumpf *et al.*, 1999). El desarrollo que se ha tenido para los estados ya mencionados ha ocasionado en gran medida que la contaminación del Golfo de México aumente. Por lo que es uno de las cuencas oceánicas

que se encuentran más amenazados por la contaminación debido a su gran actividad industrial. En México existen 22 ríos que vierten sus aguas al Golfo de México; de éstos el más importante es el río Bravo, el cual sirve de frontera con los Estados Unidos, en su cauce se han construido una serie de presas que regulan su aporte al Golfo de México. El segundo en importancia es el río Usumacinta, con una cuenca ligeramente más chica que la del río Panuco, pero con más escurrimientos por localizarse en una zona tropical (Caso, 2004; Pisanty 2004; Ezcurra, 2004).

Los metales pesados son elementos naturales de la corteza terrestre, rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua (Albert, 1991; Caso *et al.*, 2004). Existen cambios en sus concentraciones debido al uso extensivo en la industria y actividades humanas. El aporte de estos al Golfo de México, se da por la influencia del Río Misisipi en Estados Unidos, y por el río Grijalva - Usumacinta en México. Así como la aportación por parte de los Puertos de Brownsville, Corpus Christi, Houston y Galveston en Estados Unidos y Tampico, Madero, Altamira, Veracruz, Alvarado, Coatzacoalcos, Dos bocas, Tabasco y Cd. Del Carmen en México (Botello *et al.*, 1998; Caso *et al.*, 2004). Son unos de los principales agentes de la contaminación de las zonas costeras, en los sedimentos y en la biota, estos elementos traza llegan a ser tóxicos si se presentan en altas concentraciones, aunque muchos de ellos son absolutamente esenciales para el crecimiento y metabolismo de plantas y animales, además de afectar a la flora y fauna afecta a los seres humanos. Se les considera metales pesados porque pueden causar trastornos en la salud del hombre (Peña *et al.*, 2001). En la clasificación de dichos metales se encuentran algunos de los más tóxicos como: Cr, Hg, Pb, Cd, por mencionar algunos.

Algunos metales como el Zn y el Cu se emplean continuamente como indicadores de contaminación debido a su relativa facilidad de análisis en muestras del ambiente (García y Dorroronso, 2005). La justificación de su uso es que la presencia de ambos normalmente es muy baja y sus niveles no suben de manera natural. Si suben las concentraciones de estos metales a los niveles tóxicos, es muy probable que los niveles de otros metales también sean tóxicos.

Los metales traza son de gran importancia en las áreas costeras, porque son ingeridos y retenidos en altas concentraciones por los organismos marinos y pueden ocasionarles serios trastornos, inclusive la muerte. Si se encuentran en bajas concentraciones, causan efectos subletales como la reducción del tiempo de vida de ciertas especies o el incremento de la susceptibilidad a ciertas enfermedades; produciendo efectos mutagénicos y teratogénicos (García y Dorronsoro, 2005). Los efectos de la contaminación por causa de los metales son cada vez más evidentes en todos los ecosistemas acuáticos y terrestres (Pérez-López *et al.*, 2003). Dentro de los contaminantes que se consideran prioritarios en México debido a su alta toxicidad y a su persistencia en el ambiente; son el Hg, Pb, Cr y Cd (Codina y Pérez, 2003). Hernández-Arana (2003) encontró efectos de los contaminantes asociados a la actividad petrolera sobre la estructura de la macrofauna béntica en el Banco de Campeche. Los metales pesados por si solos no son particularmente tóxicos, sino que son peligrosos cuando viven como cationes, o sea que tienen la capacidad para unirse con ciertas cadenas de carbonos y de esta manera bioacumularse (Goldberg, 1995; *En.* Islam y Tanaka, 2004). Mencionan también que existe una relación directa creciente entre la edad del organismo y la concentración de metales pesados, los cuales se biomagnifican conforme sube el nivel de la cadena trófica. (Nigro, 1996; *En.* Islam y Tanaka, 2004). Los metales pesados están en los alimentos y provienen de diversas fuentes, las más importantes son: el suelo contaminado en el que se producen los alimentos para el hombre y los animales; los lodos residuales, los fertilizantes químicos y plaguicidas empleados en la agricultura (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2005). Entre las sustancias cancerígenas descargadas con mayor frecuencia a aguas superficiales el 42% son metales, destacando el Ni, Cr, Pb, As, Co y Be (EPA, 2003).

La exposición humana a alguno de estos metales como es al Cd, puede ser medioambiental y ocupacional, pero la población en general también está expuesta al Cd con el consumo de alimentos, agua y cigarrillos. Las emisiones atmosféricas procedentes de fuentes antropogénicas son de un orden de magnitud mayor que las que proceden de fuentes naturales. Los alimentos, el aire atmosférico y los cigarrillos constituyen las tres principales fuentes de exposición al Cd para la población general. Este metal está presente en muchos alimentos, siendo los cereales, mariscos, hígado y riñón de animales

contaminados los que contienen mayor concentración (OECD, 1994; Pinot *et al.*, 2000). Estudios realizados *in vivo* e *in vitro* han demostrado que el Cd induce la formación de especies reactivas de oxígeno como anión superóxido, radicales hidroxilo y peróxido de hidrógeno, estas moléculas producen lesión en el ADN, en la membrana celular y un aumento de la peroxidación lipídica (Stohs *et al.*, 2001). Hernández-Arana (2003) encontró efectos de los contaminantes asociados a la actividad petrolera sobre la estructura de la macrofauna béntica del Banco de Campeche.

Cuando el Hg de origen natural o antropogénico se deposita en los lagos o ríos como  $Hg^{2+}$ , éste se reduce a  $Hg^0$  y las bacterias lo transforman en metilmercurio, este se acumula en el plancton y las algas, que sirven de alimento a los peces pequeños, que a su vez son ingeridos por los peces más grandes; así los individuos que se encuentran en lo más alto de la cadena alimentaria pueden llegar a tener una concentración de metilmercurio 130 veces más alta que el agua del entorno. Debido al fenómeno de bioacumulación del Hg a través de la cadena trófica, el Hg también se acumula en el tejido de cualquier animal o ser humano que se alimente de pescado contaminado (Gerrard *et al.*, 2001).

Para México, no se tienen registros formales de muertes de personas por consumo de organismos contaminados, pero si se han registrado muertes de otros organismos por causa de elevadas concentraciones de metales pesados. En octubre de 1992 en La Paz, Baja California Sur se recibió información sobre un evento de muerte masiva de peces, aves y mamíferos marinos en Bahía Magdalena. Los estudios realizados comprobaron que la mayoría de los organismos contenían elevadas concentraciones de metales pesados (Renato *et al.*, 2003). En un evento semejante, ocurrió en Bahía de Chetumal, Quintana Roo. Sin embargo, los contaminantes causantes nunca fueron identificadas con certeza (Vidal-Martínez *et al.*, 1996; Aguilar-Dávila y Sosa-Cordero, 1997; Ortiz-Hernández, 1997).

En el estado de Veracruz, todas las lagunas están fuertemente impactadas por actividades humanas lo que ha provocado, entre otras cosas, el descenso de la pesca en muchos sitios (Portilla, 2005).

Veracruz ocupa: el 5° lugar a nivel nacional en actividad pesquera; sin embargo es el ocupa el primer lugar en la pesca de especies ribereñas. Junto a Tamaulipas, Tabasco, Campeche y Yucatán conforman la segunda región más importante en actividad pesquera del país, aunque fundamentalmente de características ribereñas. El estado de Veracruz ha tenido fama por la actividad pesquera en sus litorales. Sin embargo, desde hace años las capturas han descendido dramáticamente, por la contaminación y/o por la sobrepesca de muchas especies de un elevado valor comercial como es el caso de *M. curema* o *Ce. undecimalis* (Portilla, 2005).

*Mugil curema* representa un relevante papel, ya que. por sus salidas y entradas a la laguna son grandes importadores y exportadores del ecosistema estuarino, por otra parte estudiar metales pesados en la lebrancha es de gran importancia por su abundancia y valor comercial además de que sirven de alimento a otros peces, aves acuáticas y al hombre (Calva-Monroy, 1985). El interés de llevar a cabo un estudio sobre metales pesados en *M. curema*, radica en la demanda que tiene como producto para consumo y carnada en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Cabe mencionar que esta localidad es una de las lagunas más ricas en especies de peces, de las cuales están reportadas aproximadamente 179 (Pérez-Hernández y Torres-Orozco, 2000) ya que tiene una producción anual promedio de 22,000 kg (Calva-Monroy, 1985), además de ser un ecosistema que se ha sometido a diversas alteraciones ambientales.

Una de las problemáticas ambientales más importantes en el país se refiere al uso indiscriminado de precursores químicos en actividades ilícitas tales como el uso de metales pesados, como Hg, en la minería, el vertimiento de aguas servidas y otro tipo de compuestos relacionados con actividades industriales y prácticas agrícolas inadecuadas. Lo anterior ha llevado a que la contaminación química, en especial por metales pesados, constituya una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y las especies presentes en ellos. Los peces, como muchos otros organismos, tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de estos compuestos en comparación con la presente en el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación. Sin embargo, esto implica que su consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones



que se alimentan de este recurso, como los seres humanos (Mancera y Álvarez, 2006). Es por esta razón que el hombre empieza a realizar diversos estudios en organismos acuáticos que tienen vía directa hacia el ser humano: peces, moluscos crustáceos, etc. predominando los moluscos debido a su facilidad de muestreo y a su gran afinidad hacia ciertos elementos (Vázquez *et al.*, 1990; Botello *et al.*, 1998; UNEP/GPA, 2006).

El sistema lagunar Pueblo Viejo-Tamiahua-Tampamachoco tiene una larga historia de contaminación con desechos petroleros, mineros y domésticos de ciudades cercanas así como distantes como la Ciudad de México (Rosas *et al.*, 1983; Atwod *et al.*, 1987; Botello *et al.*, 1994; Botello y Calva, 1998 *En Botello et al.*, 2005). Las actividades humanas, como dragado de canales y depósito de materiales en varias áreas, provoca la pérdida de hábitats, estuarios, reducción de la vegetación sumergida, pérdidas de detritus orgánico como fuente de alimento, deterioro de fondos blandos, intrusión de agua salada, eutrofización, creación o intensificación de hipoxia, acumulación de contaminantes químicos y modificación de la circulación general del agua (Darnell, 1992). Es evidente que la alteración de cualquier ecosistema por la construcción y operación de canales de navegación (como el canal intracostero Tamaulipeco) así como plantas generadoras de energía eléctrica (Central Termoeléctrica de Tuxpan) modifican el ambiente. Por lo cual, estudios del impacto ambiental de la alteración previo a estas modificaciones del ambiente son indispensables para el conocimiento de la biodiversidad y plantear alternativas sobre el manejo adecuado de los recursos bióticos. Además, un plan de monitoreo continuo es necesario para verificar el estatus de los recursos con el paso del tiempo.

## **II.2 Cinética ambiental y toxicocinética de los metales pesados Cr, Ba, Pb, Cd, Cu y Hg en la salud y el ambiente acuático**

Los metales pesados presentes en ciertos alimentos, especialmente en pescados, mariscos y sus derivados, están directamente relacionados con la contaminación de ríos, lagos y océanos, constituyendo un interesante campo de investigación en la biología del medio ambiente marino (Lindhal y Schwanbom 1971).

El crecimiento de los peces está regulado por la liberación de la hormona del crecimiento (HC). Esta hormona es pleotrópica, es decir que tiene un efecto sobre varias funciones del organismo, tales como la promoción del crecimiento, movilización de energía química, desarrollo de gónadas, apetito y comportamiento social. La acción de la hormona de crecimiento, HC, puede ser regulada principalmente por factores ambientales y contaminantes como los metales pesados y el estado nutricional (Martínez *et al.*, 2009).

La mayoría de los metales como el Fe, Cu, Zn, Hg, Pb, Cd, etc., juegan un papel importante en el metabolismo de los organismos ya que son constituyentes enzimáticos, no obstante en altas concentraciones y en ciertas condiciones del medio ambiente estos mismos elementos pueden resultar tóxicos (Perin *et al.*, 1997; Anandra *et al.*, 2002). Los efectos de estos elementos en los organismos se asocian con perturbaciones de los sistemas enzimáticos en los comportamientos intracelulares y el crecimiento.

### **II.2.1 Cromo (Cr)**

El Cr es un elemento de transición duro, frágil, de color gris acerado brillante y resistente frente a la corrosión, es relativamente suave y flexible cuando no está tensionado o cuando está muy puro. Su densidad es de 7.19g/cm<sup>3</sup>. Las emisiones industriales, descargas de efluentes industriales, quema de combustibles fósiles, lodos de perforación y la incineración de los residuos sólidos urbanos son algunas de las causas principales por las cuales el Cr se incorpora al ambiente (Wright, 2003). Entra al aire, el agua y el suelo en las formas de cromo (III) y cromo (VI), ocurre de forma natural y es un elemento nutritivo esencial que ayuda al cuerpo a utilizar azúcar, proteínas y grasa. (ATSDR, 2000).

La vía principal de absorción del cromo es la respiratoria, también se da por vía digestiva y dérmica, una vez absorbido el cromo (VI) penetra en el torrente circulatorio donde se reduce a cromo (III) y penetra a nivel celular, donde se une a las proteínas plásmicas mientras que el cromo (VI) se une a los hematíes. El órgano que presenta mayor acumulación es el pulmón y en menor cantidad el bazo, riñón y el hígado. La excreción del cromo es por vía renal, también se elimina a través de la vía digestiva por medio de la bilis

(Moreno *et al.*, 2003). Estudios experimentales han demostrado que no está directamente relacionado con el desarrollo del cáncer. Sin embargo la exposición a dosis altas puede ser perjudicial ocasionando irritación de la nariz, boca, ojos y causar cefaleas, mareos, náuseas y diarrea (ATSDR, 2004).

### **II.2.2 Bario (Ba)**

Este metal existe en el ambiente solamente en minerales que contienen mezclas de elementos. Se combina con otros elementos químicos como azufre, carbono y oxígeno, para formar compuestos de Ba. Este metal se incorpora al aire cuando se minan, refinan y manufacturan compuestos de Ba y cuando se quema carbón o petróleo. Existen pequeñas cantidades de Ba presentes en los alimentos, agua así como en el aire.

Los humanos pueden ser intoxicados con concentraciones de Ba viviendo en áreas con niveles naturalmente altos en el agua potable, trabajando en una ocupación en la que se produce o usa Ba, o exponiéndose por largo tiempo cerca de un sitio de desechos compuestos de Ba.

La toxicidad del Ba está ligada a la diferente solubilidad de sus sales, presenta efectos gastrointestinales y los derivados de su intercambio con el K y el Ca en músculo esquelético y sistema nervioso. La toxicocinética del Ba se da por absorción ya sea por vía inhalatoria o por vía oral, se acumula en esqueleto y glándula submaxilar y se va a eliminar en mayor cantidad por medio de las heces, también por medio del sudor y vía renal. El Ba es antagonista del K ya que provoca su aumento intracelular y su disminución extracelular, desplaza al Ca y los efectos que ocasiona son pérdida de reflejos, parálisis muscular y la muerte (NIOSH, 1993)

La EPA ha establecido un límite de 2.0 miligramos de Ba por litro de agua potable (2.0 mg/L ó 2.0 ppm). Sin embargo aun no se manejan los límites permisibles de concentración en el hombre, en sedimentos ni organismos acuáticos.

### **2.2.3. Plomo (Pb)**

Es un metal no esencial y rara vez se encuentra de forma natural en la corteza terrestre, generalmente se encuentra combinado con dos o más elementos formando compuestos de Pb y aleaciones útiles (ATSDR, 2007). La mayoría de las sales del metal son poco solubles, de allí que la toxicidad aguda sea imposible de observarse bajo condiciones naturales, al igual que otros metales su toxicidad está influida por la dureza de las aguas, pH y la presencia de materiales orgánicos entre otros (Botello *et al.*, 2005). Los datos publicados sobre el efecto del Pb en invertebrados marinos (Taylor, 1981b) indican que la concentración de exposición debe ser mayor a 1 ppm, para que pueda ser observada cualquier respuesta tóxica aguda (Taylor, 1981b). En humanos la toxicidad se da principalmente en los niños, siendo la principal fuente de exposición el aire, agua, polvo así como el consumo de ciertos organismos con altos índices de concentración de metales. El nivel aceptado en la sangre de los humanos es de 10µg/dl (CDC, 1991).

El Pb se absorbe por inhalación, donde un 35% del total se deposita en las vías aéreas, la absorción gastrointestinal representa menos del 10% del ingerido y a través de la piel solo tiene importancia ante el contacto con compuestos orgánicos del Pb. La eliminación se hace por medio de las heces, en cambio el plomo absorbido se elimina por medio de la orina (WHO, 1979).

La bioacumulación del Pb puede darse en altas concentraciones en una gran variedad de organismos, como moluscos, crustáceos, peces y aves, lo cual puede poner en peligro al hombre al incluirlos en su dieta (ATSDR, 2007)

### **2.2.4. Cadmio (Cd)**

Se considera un metal no esencial para los humanos, plantas y animales, poco abundante en la atmósfera. El Cd se acumula principalmente en el hígado y riñón de los organismos. Diferentes estudios demuestran que lesiona principalmente los mecanismos de regulación de los iones más que afectar las funciones respiratorias nerviosas (Hellawell,

1989). Sin embargo el Cd puede ser eliminado de los tejidos después de dosis intermitentes o una simple exposición, en grandes cantidades absorbidas pueden ser rápidamente adquiridas pero lentamente eliminadas, así los organismos pueden sobrevivir a exposiciones de periodos cortos y grandes dosis para morir subsecuentemente (Botello *et al.*, 2005).

El Cd puede ser absorbido por medio de la respiración de forma oral y muy limitado por medio de la piel. Se une a la hemoglobina y albumina, se acumula en la corteza renal y se elimina por vía gastrointestinal y renal. Su tiempo de permanencia dentro del organismo es de 10 a 30 años, sus acciones tóxicas principales es su capacidad de inhibición enzimática. Es un xenobiótico que se acumula en los tejidos (Ramírez, 2002).

#### **2.2.5. Cobre (Cu)**

Es un elemento muy común que se encuentra naturalmente y se extiende a través del ambiente por fenómenos naturales, y es un metal ampliamente usado por los humanos. Por ejemplo, este es aplicado en industrias, la agricultura y su producción se ha incrementado en los últimos años, por lo que las cantidades de este metal se han expandido. La absorción de Cu es necesaria debido a que es un elemento traza, es decir, que es esencial para la salud del hombre y sus concentraciones en el aire son bastante bajas por lo que la exposición al Cu por respiración es descartable, aunque la gente que vive en casas que todavía tienen tuberías de Cu están expuestas a mas altos niveles de este metal ya que es liberado en sus aguas a través de la corrosión de estas tuberías (Sutulov, 1984).

El Cu al igual que otros metales pesados, provoca un efecto inhibitorio importante en el metabolismo de la respiración de los crustáceos (Páez, 2005).

#### **2.2.6 Mercurio (Hg)**

El mercurio no tiene ninguna acción fisiológica beneficiosa para el cuerpo humano ya que en cualquiera de sus formas es tóxico para los organismos vivos y el medio ambiente. La absorción del mercurio metálico, se lleva a cabo a través de la inhalación de

vapores, lo cual produce una alta concentración de Hg en los pulmones donde se distribuye por la sangre y se acumula en el cerebro y riñones. En su estado líquido puede ser absorbido por la piel. La mayor cantidad de Hg puede ser eliminada por las heces y la orina y en pequeñas cantidades por la saliva, sudor, lagrimas y el cabello (Repetto, 1995).

El Hg es el metal típicamente bioacumulado en los componentes de la cadena alimentaria, niveles bajos de agua ( $\mu\text{g/L}$ ) sus efectos son más pronunciados que los provocados por otros metales. La biomagnificación del Hg es la que más incide en los efectos para animales y seres humanos. Al parecer, los peces adhieren con fuerza el metilmercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metilmercurio. La mayor parte del metilmercurio en tejidos de peces forma enlaces covalentes con grupos sulfhidrilo proteínico afectando así diversos sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y su pared. Como consecuencia, se genera un enriquecimiento selectivo de metilmercurio (en comparación con el mercurio inorgánico) cuando se pasa de un nivel trófico al siguiente nivel trófico superior (Páez, 2005).

De acuerdo con Marcano y Rose (2001), el contenido de Hg en los peces puede estar relacionado a tres parámetros biológicos: longitud, peso y edad. Dado que muchos peces predatorios tienen un periodo vital más largo que el de presa, ellos naturalmente tienen un periodo más largo de exposición al mercurio hallado en alimentos y aguas. En adición al periodo vital, la tasa de crecimiento también tiene un efecto en diferentes niveles de mercurio observados en las especies. Organismos en posiciones inferiores en la cadena alimentaria tienen un crecimiento más rápido que los organismos que se ubican en posiciones superiores. De cualquier manera, en los peces con crecimiento lento, los contenidos de mercurio se incrementan más rápido. El Hg al igual que otros metales pesados, provoca un efecto inhibitorio importante en el metabolismo de la respiración de los crustáceos (Páez, 2005).

### **II.3 Factores fisicoquímicos que inciden en la acumulación ambiental y disponibilidad de los metales pesados**

El pH, la alcalinidad y ligandos orgánicos e inorgánicos realizan cambios en la distribución de las especies que influyen en la formación de complejos; es decir cambios en la capacidad de absorción.

La densidad de organismos reduce la disponibilidad de metales y cambia la distribución de las especies a causa de la absorción sobre las superficies celulares y/o acomplejamiento de los exudados de la biota.

La concentración de partículas y coloides, se refiere cuando los metales son secuestrados por partículas de los óxidos de hierro, magnesio y aluminio y de las arcillas.

El potencial de Redox afecta el estado de oxidación de los metales; la disponibilidad y la movilización de ciertos metales como el manganeso, lo cual frecuentemente ocurre más fácilmente en potenciales Redox reducibles.

Estos factores antes mencionados son los que afectan la especialización química e influyen en la toxicidad de los metales pesados en el ambiente acuático (Stumm y Morgan, 1984).

### III. ANTECEDENTES

Actividades como el dragado de canales y depósito de materiales en otras áreas provoca la pérdida de hábitats estuarinos, reducción de la vegetación sumergida, pérdidas de detritus orgánico como fuente de alimento, deterioro de fondos blandos, intrusión de agua salada, eutrofización, creación o intensificación de hipoxia, acumulación de contaminantes químicos (metales pesados principalmente) y modificación de la circulación (Darnell, 1992). Abraham y Parker (2007), llevaron a cabo una evaluación de los factores de enriquecimiento de metales pesados y el grado de contaminación en sedimentos marinos en el estuario de Tamaki, Nueva Zelanda, donde analizaron Cu, Pb, Zn, Cd en sedimentos, registrando las concentraciones más altas en la capa superior de 0-10 cm. Para hacer esta evaluación requirieron del conocimiento previo de la situación del sitio en cuanto a concentraciones de metales para actuar como una referencia contra la cual los valores medidos se compararon, expresando con los valores de referencia que las capas superiores de sedimentos mostraron cuatro veces el enriquecimiento donde se pudo demostrar el grado de contaminación con metales pesados por efectos de la urbanización. Otros trabajos realizados por (Ahmed *et al.*, 2005), donde realizaron estudios de las concentraciones de nueve metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn y Pd) lixiviados en las fracciones de los sedimentos fangosos y arenosos de las muestras recogidas en doce sitios del Golfo de Suez en abril de 1999, se estudiaron para evaluar la situación de la contaminación.

Existen muy altas concentraciones de Cd, Ni, Pb y ligeramente la concentración de Cr y Cu en los sedimentos fangosos y arenosos. La concentración de Zn fue moderadamente alta y puede ser considerado como serio metal contaminante, determinando que la principal fuente de contaminación es el off Shore yacimientos de petróleo y los desechos industriales que llegan al Golfo de Suez. Otro estudio realizado con el registro y concentración de metales pesados en sedimentos, peces marinos y de agua dulce de la zona del Delta del río Perla, China dio como resultado que en los peces marinos el Hg fue superior, e inferior en las concentraciones de Pb de los peces de agua dulce. En Algunas especies de peces se registró concentraciones medias superiores a las normas internacionales de Cd y Pb establecidos por la Unión Europea y China National Estándar Departamento de Gestión, las concentraciones de Hg total en el mercado donde 10 de 20



especies de peces fueron en general superiores a las de la Organización Mundial de la Salud del límite recomendado de 0,2 mg / kg para los grupos de riesgo, como los niños y mujeres embarazadas. Expertos de la alimentación humana y aditivos mencionan que existe amenaza potencial para la población local de contaminación por mercurio porque la tasa de consumo de peces marinos es de 142 gr. /día/persona (Cheung *et al.*, 2007).

El Golfo de México recibe una gran cantidad de estos tóxicos mediante la afluencia del Río Mississippi en Estados Unidos y por México por el río Grijalva – Usumacinta, así como la aportación por parte de los puertos de Brownsville, Corpus Christi, Houston y Galveston en los Estados Unidos y Tampico, Cd. Madero, Altamira, Veracruz, Alvarado, Coatzacoalcos, Dos Bocas Tabasco y Cd. del Carmen en México (Botello *et al.*, 1998; Caso *et al.*, 2004). Sin embargo desde los puntos de vista físico, climático, hidrológico, geológico, químico y biológico, los ecosistema estuarino-lagunares poseen características propias; ya que figuran entre los sistemas naturales más productivos del mundo, pues fungen como refugio de diversos organismos marinos juveniles y son sitios intermedios en la migración o en el ciclo de vida de numerosos peces y crustáceos, debido a la disponibilidad de alimento y a condiciones hidrológicas que influyen sobre los procesos fisiológicos de los organismos (Reguero y García-Cubas, 1991). Vázquez *et al.* (2001: 45) realizaron estudios de metales (Cu, Pb, Cd, Cr, Mn, Zn, Ag, Ba y Fe) en peces y camarones colectados en diferentes áreas de la Sonda de Campeche, registrando que la concentración de estos metales en los músculos, gónadas y vísceras (Cu: 1.3-10.5, Pb: 0.15- 8.5, Cd: 0.001-4.8, Cr: 1.3-9.8, Mn: 0.1-0.6, Zn: 41-202, Ag: 0.002-1.5, Ba: 9.3-55.7, Fe: 8.5-236 mg/kg) no presentan variaciones en función del área de colecta, con excepción del Ba y el Zn. Estos metales se reportaron en concentraciones más altas en los músculos y gónadas de organismos colectados dentro del área de circulación restringida, adyacente a las plataformas marinas.

En camarones se estudiaron los músculos y cabezas en tres áreas diferentes; en general los valores más altos se presentan en la cabeza. Villanueva-Estrada (2000:51), llevaron a cabo otro estudio de metales disueltos, (Cu Cr, Ni, V y Ti) en agua de fondo, en cuatro zonas del sur del Golfo: la zona A, localizada cerca de la descarga de los ríos

Grijalva-Usumacinta; zona B, localizada dentro de la zona de exclusión de PEMEX, al suroeste de la misma; zona C, ubicada dentro de la zona de exclusión de PEMEX, al noreste de la misma; y zona D, fuera del área de exclusión dentro de la provincia carbonatada donde los valores más altos obtenidos de Cu se ubicaron en la zona D, donde también se obtuvieron los valores más altos de materia orgánica disuelta con la cual se asocia el Cu. Los valores más altos de Cr, Ni y Ti se reportaron en la zona A y se asocian con las descargas de los ríos Grijalva, Usumacinta. El valor más alto de V ( $28.7 \mu\text{g L}^{-1}$  en promedio) se presenta en la zona C y se atribuye a las actividades de extracción de hidrocarburos. Durante los meses de febrero y marzo de 1997, Vázquez *et al.* (2002: 47) colectaron 28 muestras de sedimento en el sureste del Golfo de México desde la desembocadura del río Coatzacoalcos hasta la laguna de Términos concluyendo lo siguiente: los elementos estudiados (Si, Al, Fe, Na, Mg, Ca, K) a excepción de Ca y Si no mostraron una variación significativa entre estaciones. La alta concentración de CaO en la región este del área de estudio se debe a que el Banco de Campeche es una provincia carbonatada. La concentración de Si fue más alta en la porción oeste del área de estudio.

Las aguas costeras adyacentes a la frontera entre California y Baja California reciben sistemáticamente contaminantes de naturaleza química y biológica diversa, proveniente de las ciudades de los Ángeles, San Diego y condados circunvecinos en el estado de California (EUA), así como de las ciudades de Tijuana, Rosarito y Ensenada, en Baja California (México). Entre las vías que conducen contaminantes al medio marino en esta región fronteriza, se destacan el transporte eólico, el escurrimiento de aguas (Young *et al.*, 1973). En dicha zona costera fronteriza de California y Baja California, las aguas residuales constituyen un importante vehículo de transporte de metales al mar, mientras que en el sur de California la descarga de aguas residuales se realiza regularmente por emisores submarinos situados en la isobata de los 60 m y por debajo de la termoclina (Bascom, 1982). Los ríos son la principal vía de transporte de constituyentes químicos hacia el medio marino especialmente de metales pesados (Zhang *et al.*, 1992, Yeats, 1993) ya que se ha reconocido que las descargas de los ríos influyen en la variabilidad espacial y temporal de los metales pesados (Palanques, 1994), pues aportan gran cantidad de materia orgánica e inorgánica rica en metales traza que son liberados durante el proceso de

degradación orgánica. En 1998 y 1999, una gran mortandad de organismos acuáticos, arremetió a las zonas ostrícolas y pesqueras del noroeste de México, este fenómeno se observó durante los eventos climáticos del “Niño y la Niña” en el Golfo de California, dichos fenómenos tienen la capacidad de modificar las condiciones fisicoquímicas como la concentración y la especiación de los metales (García- Rico *et al.*, 2003). En caso de presentarse variaciones físicas y químicas como cambio de pH, salinidad, presencia de agentes complejos, entre otros los metales pueden pasar a la columna de agua en formas disponibles provocando efectos tóxicos a la biota. Núñez (1996:24) realizó un estudio en tiburones del Golfo de México, analizó diez metales en seis órganos diferentes de *Carcharhinus limbatus* y en *Rhizoprionodon terraenovae* considerando las diferentes tallas, edad y sexo de estas dos especies. Mediante este estudio determinó el factor de riesgo para su consumo de acuerdo con las concentraciones detectadas de metales, sobre todo los altamente tóxicos como el As, Cd, Hg y Pb, debido a que son especies que forman parte importante de las pesquerías a escala nacional.

La Laguna de Tampamachoco tiene gran importancia ecológica y económica desde el punto de vista pesquero y aunque el estado de Veracruz ocupa el 1° lugar con respecto a la pesca de especies ribereñas (80.36% a nivel nacional) esta laguna tiene una fuerte actividad pesquera, también es una de las más contaminada pues recibe HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) provenientes de efluentes industriales y desagües, derrames de petróleo, quema de combustibles fósiles e incendios forestales y de vegetación. De igual forma, las descargas urbanas y de agricultura liberan cantidades sustanciales de éste ambiente acuático (Vázquez- Botello *et al.*, 1998).

Debido a la importancia pesquera de estos sistemas lagunares, y a que algunos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos detectados son considerados como desechos peligrosos y están entre los 65 contaminantes tóxicos prioritarios, se sabe que de seguir incrementándose estos contaminantes en habitas marinos, se pone en riesgo el cultivo de peces y ostiones en el área y por consiguiente se afectaría la economía de un importante núcleo de pescadores (Vázquez- Botello *et al.*, 1998). Es evidente la alteración de cualquier ecosistema por la construcción y operación de canales de navegación (canal

intracostero Tamaulipeco) así como plantas generadoras de energía eléctrica (Central Termoeléctrica de Tuxpan, Ver.), por lo que investigar estas modificaciones del ambiente costero es indispensable para el conocimiento de la biodiversidad y plantear alternativas sobre el manejo adecuado de los recursos bióticos (Vázquez- Botello *et al.*, 1998). Debido a la capacidad que tienen los metales pesados para formar complejos con la materia orgánica, tienden a fijarse en los tejidos de los organismos expuestos en las cadenas tróficas. Este fenómeno es tal vez uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático (Neff, 2002), por esta razón los organismos tróficamente superiores, entre ellos el hombre, se encuentran expuestos a elevadas concentraciones de estos elementos (Wang, 2002). Se ha reportado que los sedimentos marinos actúan como integradores y concentradores de metales (González *et al.*, 1998) dependiendo de la forma física y química de los metales estos pueden movilizarse y ser transportados a través de las membranas biológicas de las diferentes especies marinas (Kong *et al.*, 1998).

Chen y White (2004) mencionan que los sedimentos en lagos y lagunas se convierten en sumideros de diversas sustancias, mismas que pueden continuamente ser reintroducidas a la columna de agua y ser transferidas en la cadena trófica, también reportan que los sedimentos son el sumidero de partículas contaminantes adsorbidos en los sistemas acuáticos y pueden servir como un depósito de contaminantes tóxicos que constantemente amenazan la salud y la viabilidad de la biota acuática. El trabajo que realizaron fue una revisión exhaustiva de los estudios publicados sobre la genotoxicidad de los sedimentos en los ríos, lagos y los hábitats marinos. En las lagunas existen varios factores fisicoquímicos entre otros que influyen en la tasa de crecimiento; el estado de desarrollo, la actividad y la disponibilidad del alimento, el foto periodo, la salinidad y la temperatura, la Laguna de Tampamachoco no es una excepción. Espina y Vanegas (2005). Por lo anterior se los estudios se han enfocado a establecer condiciones físicas y químicas que caractericen a estos ambientes durante las temporadas de secas, lluvias y nortes a fin de contribuir a su conocimiento ecológico y productivo (Gutiérrez *et al.*, 2006). Dentro de los parámetros fisicoquímicos la salinidad en los sedimentos y en el cuerpo de agua, modifica la captación de algunos contaminantes, como lo son los metales pesados, bajas salinidades,

incrementan la biodisponibilidad y la incorporación debido a cambios en la captación en la especiación química del metal, a interacciones competitivas con otros iones por los sitios de transporte y a los efectos del metal a los mecanismos de regulación iónica y osmótica en el organismo Hansen *et al.*, 1992 *En* (Espina y Venegas, 2005). Ante esta problemática y con el fin de establecer umbrales de toxicidad que sean aplicables ampliamente para proteger el medio ambiente, la agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) ha desarrollado las Guías de Calidad de sedimentos (SQGs). No obstante, dada la gran complejidad de los sedimentos, la mayoría de los estudios tratan de establecer SQGs para situaciones o ambientes específicos, como es el caso de medios acuáticos de agua dulce o sedimentos marinos (Campana *et al.*, 2004).

Los ambientes estuarinos son altamente dinámicos y son muy sensibles de ser afectados por las descargas antrópicas, ya que tienden a actuar como trampas de sedimentos físicos asociados con los contaminantes Rosales Hoz *et al.*, 2003 (*En* Botello *et al.*, 2005.) El desarrollo industrial en zonas costeras especialmente aquellas asociadas con la refinación de hidrocarburos y con la manufactura de productos petroquímicos, puede tener un impacto significativo en el ambiente. Entre los efectos que se han podido detectar en estas zonas, se tiene la pérdida de hábitats Cloretta *et al.*, 2000 (*En* Botello *et al.* 2005). Existen cambios en las características dinámicas de los sedimentos debido a dragados y un aumento en las descargas de hidrocarburos y metales pesados hacia las zonas costeras y estuarinas debido a las descargas de efluentes Croudace y Cundy, 1995 (*En* Botello *et al.*, 2005).

Los metales pesados son constituyentes naturales de la corteza terrestre, rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua (Albert, 1999; Caso *et al.*, 2004). Sin embargo, por su uso extensivo en las actividades industriales y humanas se han producido cambios en la concentración natural. La acumulación de metales traza en ambientes acuáticos es el resultado del intemperismo (natural) y actividades antrópicas. La creciente y cada vez más compleja actividad humana (industrial y domestica) durante las últimas dos décadas ha impuesto un serio riesgo al ambiente y consecuentemente a la salud humana (Vanegas *et al.*, 1997).

Existen tres procesos que se dan entre los metales pesados y los organismos acuáticos que son la *bioacumulacion*, que se refiere al aumento de la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un corto plazo, comparada con la concentración del producto químico en el ambiente, *la biomagnificacion*; se da cuando la concentración en los niveles tróficos de un elemento químico aumenta conforme sube el nivel de la cadena alimenticia y *la selectividad*, ocurre cuando al aumentar la concentración de un producto químico significativamente en un organismo que se encuentra en los estratos inferiores. (Botello *et al.*, 1996; Carazo *et al.*, 2006). Una característica importante de los metales pesados es que no pueden ser degradables o destruidos biológica ni químicamente, solo se acumulan o alteran para su extracción (Carazo *et al.*, 2006). En algunos casos se les considera indispensables para la vida, ya que forman parte de sistemas enzimáticos como el Co, Zn, Mo y Fe (que forma parte de la hemoglobina) son metales esenciales y su ausencia causa enfermedades, los metales no esenciales son aquellos que no presentan ninguna función biológica y que de igual manera tanto unos como otros, en altas concentraciones son perjudiciales.

Algunos metales pesados, como el Fe, Cu, Zn, etc., son necesarios para determinados procesos biológicos a nivel de trazas (elementos esenciales), este problema surge cuando estos elementos y otros no esenciales como lo son (Hg, Pb, Cd, etc.) se encuentran en concentraciones excesivamente elevadas para los organismos. En algunas ocasiones, estos elementos pueden constituirse como sustancias con efectos tóxicos incluso a bajas concentraciones, ya que por ejemplo, un metal no esencial como el Cd puede sustituir a uno esencial como el Zn por su similitud química en una ruta metabólica y conseguir bloquearla (Rainbow, 1985). Entre los metales pesados más peligrosos para el ecosistema marino y para la salud humana debido a sus características de toxicidad, persistencia y bioacumulación son Hg, Cd, Pb, seguidos a bastante distancia por el Cu, Zn, Cr, Ni, etc. (Kennish, 1991). La mayoría de estos juegan un papel importante en el metabolismo de los organismos ya que son constituyentes enzimáticos, no obstante en altas concentraciones y ciertas condiciones del medio ambiente estos mismos elementos pueden resultar tóxicos (Perin *et al.*, 1997; Anandra *et al.*, 2002). Por lo común los organismos vivos cuentan con mecanismos para mantener equilibrios internos y evitar la intoxicación

de metales pesados. Sin embargo bajo ciertas condiciones estos mecanismos pueden ser insuficientes y producir daños tanto en el metabolismo como en la información genética (Anandra *et al.*, 2002). La dinámica de los metales pesados es compleja y depende de su naturaleza química así como de los cambios cíclicos, direccionales y esporádicos a los que están sujetos los ecosistemas, dada la importancia del nivel de contaminación encontrado en sedimentos de lagunas y bahías en distintos estudios realizados sobre contaminación marina para el Pb, este alcanza valores de hasta 139,1 mg/kg, siendo los valores estándar clasificados como ecotoxicológicos, los comprendidos entre 5 y 50 mg/kg. Los cuales producen importantes niveles de concentración en distintas especies acuáticas (Morrisey *et al.*, 1994; Haynes 2002; Dellvals *et al.*, 2002). Los metales absorbidos sobre el material particulados pueden ser des absorbidos y liberados a la columna de agua y al agua intersticial, de esta forma los metales son incorporados y bioacumulados por los organismos pelágicos y bentónicos Así la medida de la biodisponibilidad, y la subsiguiente toxicidad de los metales representa el primer paso en la evaluación del riesgo que representa la contaminación de los sedimentos, a fin de implementar estrategias de regulación que permitan prevenir la contaminación (Liu *et al.*, 1999). Aun así, los metales pesados presentes en ciertos alimentos, especialmente en pescados, mariscos y sus derivados, están directamente relacionados con la contaminación de ríos, lagos y océanos, constituyendo un interesante campo de investigación en la biología del medio ambiente marino. Además, el poder cuantificar de alguna manera los efectos subletales que los metales pesados producen sobre los sistemas vivos permite anticipar una serie de alteraciones fisiológicas, tales como desórdenes neurológicos (Lindhal y Schwanbom. 1971), alteraciones de las actividades enzimáticas (Uackim *et al.*, 1976), efectos teratogénicos, mutagénicos y carcinogénicos, susceptibilidad a enfermedades parásitarias y fisiológicas, así como problemas en la reproducción (McIntyre, 1973).

Desde el punto de vista toxicológico, los metales no residuales son importantes ya que solo especies metálicas reactivas se relacionan con su bioacumulación y toxicidad en los sistemas acuáticos. Sutherland y Tack (2002), argumentaron que el Cd, Cu y Pb a nivel traza como producen un gran efecto de espectros tóxicos, especialmente en las formas larvianas (Villar *et al.*, 2000). La toxicidad del Pb se debe a su forma química, siendo en

general las formas inorgánicas menos tóxicas que las orgánicas (Kennish, 1997), hasta el momento no se han encontrado indicaciones que el Pb se incremente en los niveles tróficos superiores (Fant *et al.*, 2001). El Cd es un metal pesado tóxico, miembro del grupo IIB de la tabla periódica de elementos químicos, presente en el suelo, sedimentos, aire y agua (Weisberg *et al.*, 2003 En Pernía *et al.*, 2008). Sus principales fuentes naturales son las erupciones volcánicas, las quemadas forestales y el transporte de partículas del suelo por el viento. Por otra parte, la actividad humana libera 3-10 veces más Cd al ambiente. En los últimos años, la contaminación por este metal se ha incrementado por las actividades industriales como minería, fundición de metales, enchapado eléctrico (*electroplating*), uso y purificación de Cd, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías, cemento, pigmentos y plásticos (Palus *et al.*, 2003; Weisberg *et al.*, 2003 En Pernía *et al.*, 2008). La contaminación de ríos con Cd pueden extenderse a tierras cercanas a través de la irrigación de cultivos y por deposición de sedimentos dragados. El Cd puede combinarse con otros elementos, y formar compuestos como cloruros, óxidos y sulfuros, los cuales se unen fuertemente a las partículas del suelo permaneciendo en él por muchos años. Se estima que su vida media es de 15-30 años (Henson y Chedrese, 2004; Maruthi *et al.*, 2005 En Pernía *et al.*, 2008). El Cd generado por vulcanismo y actividades antropogénicas es removido de la atmósfera por deposición de partículas o por precipitación. Posteriormente, por escorrentía y erosión es transportado a ríos y océanos. De igual forma, los efluentes industriales con Cd llegan a los ríos donde es absorbido por la materia particulada (Salazar y Reyes, 2000 En Pernía *et al.*, 2008).

La nicotianamina es un aminoácido no proteinogénico, reseñado en gramíneas como el precursor de la biosíntesis del ácido mugeneico. La nicotianamina fue propuesta por (Koike *et al.* 2004 En Pernía *et al.*, 2008) como un excelente candidato para atrapar metales pesados y transportarlos en las plantas, desempeñando un papel importante en la tolerancia a estos metales (Pianelli *et al.*, 2005 En Pernía *et al.*, 2008). Los peces tienen la capacidad de almacenar en su cuerpo una concentración mayor de estos compuestos en comparación con la presente en el ambiente, por lo que son un indicador importante de la contaminación, pero también esto implica que su consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso.



Se realizaron estudios de metales pesados en tejidos de Bagre *Ariopsis felis* en el Sur del Golfo de México en la sonda de Campeche este estudio se llevo a cabo del 2001 al 2004 reportando la presencia de Hg, Co, Pb, Ni, V y Cr en tejido muscular de *A. felis* en niveles inferiores a los establecidos en normas nacionales e internacionales (Vázquez *et al.*, 2004).

*Mugil curema* es un especie de pez que se esta estudiando en el Golfo de México, es conocida como “lebrancha” o “lisita” y en inglés como “white mullet”, es una especie cosmopolita en aguas tropicales. En América se distribuye desde Cabo Cod, E.U.A. hasta Brasil en el Atlántico y en el Pacifico desde Bahía Magdalena, Baja California, México hasta Brasil (Fisher *et al.*, 1995; <http://.fishbase.org/>). Esta especie representa un recurso de consumo tradicional, en las costas del Golfo de México y del Pacifico, constituyendo un registro constante en las estadísticas de captura de origen artesanal. La pesquería de *M. curema* en el pacifico Mexicano tiene una producción que oscila entre las 3 y 9 mil toneladas anuales entre 1982-1997.

Estos registros engloban, por lo menos, las especies *M. curema* y *M. cephalus* Linnaeus, 1758 que son las especies del género más comunes en costas mexicanas. (SEMARNAP, 1998). *Mugil curema*, es una especie eurihalina, de origen marino, que habita en aguas limneticas y marinas. Se ha registrado en aguas cálidas y templadas por lo que se le considera euretermica, utiliza el estuario y laguna costera como el área natural de crianza para protegerse, alimentarse y crecer (Chávez, 1966).

En Veracruz, grandes cardúmenes de juveniles penetran desde el mar hacia estuarios y lagunas costeras, abandonándolos al inicio de la primavera del año subsiguiente para volver al mar definitivamente (Amescua-Linares, 1977; Yáñez Arancibia, 1978). Ésta especie suele remontar los ríos (Álvarez, 1970) y los que lo hacen por docenas de kilómetros pueden alcanzar grandes tamaños (Dahl, 1971). Así mismo, *M. curema* es una especie detritivora vegetal, siendo por lo tanto un consumidor de primer orden. Se alimenta de detritus, pero también se ha observado que se alimenta de los sedimentos inorgánicos

sobre cuyas partículas están asociadas a fauna y flora microscópicas, y algas filamentosas (Arancibia, 1976).

*Mugil curema* representa un relevante papel, ya que son grandes importadores y exportadores del ecosistema estuarino, por otra parte estudiar metales pesados en ejemplares de esta especie es importancia por su abundancia y valor comercial. Además de que sirve de alimento a otros peces, aves acuáticas y al hombre, ya que en muchos países pero principalmente en México es de consumo humano, específicamente en la laguna de Tampamachoco Veracruz, con una producción anual promedio de 22,000 Kg (Calva-Monroy, 1985).

Ortega-Ojeda *et al.* (1983) Mencionaron que *M. curema* constituye uno de los recursos pesqueros más importantes del país, por su amplia distribución en ambas costas de nuestro país como en cuerpos de aguas continentales, además de su aceptación en el mercado, esta especie se localiza en el mar, lagunas costeras y esteros, durante su desarrollo llegan a invadir aguas dulces, donde pueden permanecer hasta la época en que se aproxime el desove, pueden ser considerados como visitantes temporales sin olvidar que son propias de la región costera, ya que el desove de la *M. curema* se realiza en el mar y no en interior de la laguna.

El interés de llevar a cabo un estudio sobre metales pesados en *M. curema* radica en su demanda como producto para consumo y carnada, y por la necesidad de cubrir diversos aspectos de su biología que aún son desconocidos, considerando también que su hábitat es un ecosistema sometido a diversas alteraciones ambientales (Antón y Lizaso, 2002).

Por su hábitos alimenticios a base de los sedimentos, *M. curema* se seleccionó para estudiar su posible uso bioindicador potencial de los metales pesados en los sedimentos de la laguna de Tampamachoco, Veracruz.

#### IV. JUSTIFICACIÓN

La laguna de Tampamachoco es de suma importancia pesquera, económica y biológica a nivel nacional, ya que sirve como hábitat para diversas especies, está considerada como el último reservorio de vegetación costera original del municipio de Tuxpan, Veracruz pertenece al sitio Ramsar 1602. La laguna de Tampamachoco representa una de las lagunas más ricas en especies de peces, de las cuales están reportadas aproximadamente 179 de peces, 14 de crustáceos y 53 de otros organismos (Pérez-Hernández y Torres-Orozco, 2000).

El cambio de uso del suelo hacia actividades agropecuarias, urbanas e industriales ha ido significativamente en aumento a lo largo de los últimos años, principal causa de la alteración y contaminación de la Laguna lo que ha provocado entre otras cosas, el descenso dramático en la pesca ya sea por la contaminación o por la sobrepesca de muchas especies de elevado valor comercial.

Este presente estudio pretende ser una aportación actual ecotoxicológica de la Laguna de Tampamachoco, determinando la presencia de metales pesados en sus sedimentos y en organismos de *M. curema*

## **V. OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la concentración de 6 metales pesados de interés toxicológico (Pb, Cd, Cr, Cu, Ba y Hg) en sedimentos, así como en tejidos y órganos de *Mugil curema* (Lebrancha) para determinar su cinética ambiental, biodisponibilidad y toxicocinética.

### **5.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- Identificar y evaluar variables fisicoquímicas (Temperatura, pH, Salinidad y conductividad Eléctrica) del sedimento de la laguna de Tampamachoco, Ver. que puedan afectar la cinética ambiental de metales pesados y su biodisponibilidad.
- Evaluar la distribución espacio-temporal de 6 metales pesados en la Laguna de Tampamachoco, Ver. para determinar su presencia y cinética ambiental a través de la espectrofotometría de absorción atómica.
- Evaluar la concentración de 6 metales pesados en músculo, piel, branquia e hígado de *M. curema* de la Laguna de Tampamachoco, Ver. para determinar su toxicometría a través de espectrofotometría de absorción atómica.

## VI. ÁREA DE ESTUDIO

Colindando con el Golfo de México, Veracruz cuenta con 745 Km. de litoral y con un total de 116,600 has cubiertas por ecosistemas litorales los cuales representan el 7.4% del total nacional. El Sistema lagunar, "Laguna de Tampamachoco", se ubica entre los paralelos 20°58' a 21°05' de latitud norte y los meridianos 97°20' a 97°24' de longitud oeste. (Fig. 1). Tampamachoco, se ubica en la Región Huasteca, en la Llanura Costera del Golfo de México, en el estado de Veracruz a  $\pm$  10 km al oeste de la ciudad y puerto de Tuxpan, Municipio de Tuxpan, y a 3 horas de la ciudad y Puerto de Veracruz, por la carretera federal No. 180. Población (año 2000): en la ciudad de Tuxpan, 74,527 habitantes; Estado de Veracruz (INEGI, 2001).

La laguna carece de rasgos batimétricos notables a excepción de un canal que va en dirección norte-sur y que se prolonga hasta su comunicación con el estuario Tuxpan por la parte sur, a 2 Km de "La Barra", que lo comunica directamente con las aguas del Golfo de México. Ésta laguna tiene una marcada influencia mareal y el agua alcanza velocidades de entrada y salida en la boca hasta de 3.04 m/s (Contreras, 1985). En la zona norte de la laguna existen dos canales, "El Viejo" y "El Nuevo", que se enlazan con la boca de "La Barra de Galindo". Los canales tienen aproximadamente cuatro metros de profundidad y se enlaza con la laguna de Tamiahua, a 40 Km de la desembocadura del río. La longitud de la laguna es de 11 Km con una anchura máxima de cerca de 1,300 m<sup>2</sup>, siendo su extensión 1,500 hectáreas y una profundidad media de 1.5 m. La mayor parte de la laguna es somera con 60 cm de profundidad aproximadamente, con una máxima en Tampamachoco de 4 m (Castañeda y Contreras, 2001) (Fig 1).



**Figura 1. Macro y micro localización de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz  
(Alanis y Raya, 2010)**

El Sistema descrito está situado en el clima A( $w_2$ ), de la nomenclatura de Koeppen (modificado por García, 1988), con una temperatura media anual de 24.9°C, enero el mes más frío con 19.9° C en promedio y junio el más caluroso 28.3°C en promedio. La precipitación total anual es de 1,341.7 mm, presentando la estación seca de noviembre a mayo y la lluviosa de junio a octubre. El mes más seco es enero con 33 mm y el más lluvioso julio con 175.7 mm (INEGI, 2001).

Los vientos predominantes son del norte, conocidos como “Nortes”, presentes de octubre a febrero, pueden alcanzar los 80 km/h. De junio a septiembre se pueden presentar tormentas tropicales o huracanes, con rachas de más de 120 km/h. A su vez, de marzo a junio se presentan vientos del sur, conocidos como “Suradas”; estos son vientos secos y calientes que disminuyen la humedad atmosférica (INEGI, 2001).

Los vientos que afectan al estado de Veracruz tienen diferentes orígenes ya que en verano se presentan vientos tropicales, cálidos y húmedos que entran por el sureste,

determinando así los meses más lluviosos. En invierno se acerca la corriente boreal, con aporte de masas de aire polar, conocida como “Nortes” (Contreras, 1983).

Los vientos dominantes provienen del este; su velocidad máxima es de 48 km/h, desde parte de marzo hasta parcialmente en septiembre; los vientos secundarios proceden del norte y del noroeste, durante la parte complementaria de septiembre hasta el resto de marzo; ocasionalmente alcanzan velocidades hasta de 150 km/h. En el Golfo de México se les denomina como nortes; su frecuencia mayor es durante noviembre (Departamento de Pesca, 1977).

En lo referente a su hidrología, Laguna de Tampamachoco recibe aportes de agua dulce en su porción septentrional por el estero El Corral, que vierte su contenido en los canales de navegación El Viejo y El Nuevo; del noroeste provienen de los esteros El Corral y El Angosto; de este último existen escurrideros estacionales entre el rancho Oro Negro y Punta Potrero y frente al poblado de Tampamachoco. En la parte meridional se ubica la desembocadura del Río Tuxpan. Según Contreras (1983), por la influencia de las mareas en la laguna, el agua adopta forma de cuña, que ejerce efecto hasta una distancia aproximada de 30 Km. hacia la parte interna del Río Tuxpan. La laguna principal es somera, con profundidad promedio de un metro. En los canales de acceso se registran valores de más de 3 m. En la laguna, la turbiedad es elevada, con transparencia media de 0.30 m, el valor máximo de salinidad obtenido es de 36.58 ‰, en mayo; el mínimo es de 15.33 ‰, durante octubre, con una media de 30.21 ‰ (Contreras, 1983). El sustrato es principalmente de tipo fino, constituido por limos, arcillas y arenas (Mercado, 1980). La vegetación circundante está representada por bosques de manglar de especies diversas (INEGI, 2001).

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una visita prospectiva al área de estudio en el mes de septiembre del 2008, para delimitar los puntos de muestreo. Éstos fueron determinados de la siguiente manera: 1) “La Mata”, por ser la entrada a la boca de la laguna, es donde convergen el río Pantepec y el mar, del lado de enfrente se encuentra la zona urbana donde existen restaurantes a lo largo de la laguna, los cuales arrojan desechos orgánicos. 2) “Isla Potreros”, es una zona que no se encuentra alterada aparentemente, pues por los lados se encuentra mangle. 3) “CFE”, se seleccionó por su cercanía con la termoeléctrica y la influencia de sus desechos que pueda verter hacia la laguna 4) “Pipiloya”, el cuarto punto, tiene influencia mareal de los dos canales (el viejo y el nuevo) y la cercanía de la termoeléctrica. En cada sitio se tomaron muestras de sedimentos y se capturaron ejemplares de *M. curema*, para realizar un análisis previo y determinar la presencia del tipo de metales presentes. Con base en esto estudios, se determinó que los elementos a cuantificar en sedimentos y en tejidos de *M. curema* serían Pb, Cd, Cr, Cu, Ba y Hg.

Se realizaron las pruebas físico-químicas de los sedimentos *in situ* de cada punto muestreado, mediante un multiparámetro marca Hanna, modelo HI 9828/4-1, con el cual se obtuvieron los valores de temperatura (exactitud $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ ), pH (exactitud $\pm 0.02\text{pH}$ ); salinidad (exactitud  $\pm 2\%$  de lectura y conductividad eléctrica (exactitud $\pm 1\mu\text{S/cm}$ ).

Los muestreos se iniciaron en enero del 2009 y se realizaron durante catorce meses, finalizando en marzo del 2010. Durante este tiempo se incluyeron las tres temporadas climáticas (nortes, secas y lluvias) así como las cuatros estaciones del año en la zona de estudio, con el objetivo de evaluar el comportamiento de los parámetros analizados. Con un GPS se ubicaron las coordenadas de los sitios de muestreo. En cada uno de los sitios se tomaron muestras de sedimentos (tres muestras de cada punto) con una draga metálica, e inmediatamente se depositaron en 12 bolsas de polietileno previamente etiquetadas, con datos del sitio, numero de muestra y fecha. Así mismo, se colectaron ejemplares de *M. curema* mediante pesca artesanal. Colocándose en bolsas de plástico. Todas las muestras



de sedimento y peces se transportaron en hieleras hasta el laboratorio para proseguir con su análisis.

### ***VII.1 Trabajo de Laboratorio***

#### ***Preparación de muestras***

*Método de secado y digestión de sedimento:* En el laboratorio se fraccionaron las 12 muestras de sedimento ya que se compactan ligeramente, se remueve la materia orgánica. Los sedimentos se extienden y se dejaron secar sobre bolsas de nylon, a temperatura ambiente (para evaluar metales, se seca a una temperatura de hasta 60°C). Ya secas las muestras, se tamizaron, se etiquetaron previamente y guardaron en bolsas de plástico, posteriormente se pesó 1.0 g de sedimento, se le agregaron 10 ml de ácido nítrico concentrado. La prueba se hizo por triplicado, a una de ellas se le adicionó (500 µl) del estándar multielemento High Purity Std., y a las otras no se les agregó, se elaboró un blanco al que nada más se agregó 20 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y otro blanco referenciado con 20 ml de HNO<sub>3</sub> y 500 µl de estándar multielemento. Se utilizó un equipo microkjendalh para realizar la digestión, después de clarificar las muestras se filtraron y se aforaron a 50 ml con ácido nítrico al 5% y se depositaron en frascos de polipropileno.

La determinación de la concentración de metales pesados en los sedimentos se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC HG3000 Avanta, usando una flama de aire-acetileno. Solo la determinación del elemento mercurio fue analizado mediante un generador de hidruros.

#### ***Método de secado y digestión de las muestras de pescado:***

Cada ejemplar se lavó con agua desionizada, se midió y pesó. Posteriormente se descamó el pescado con la ayuda de un bisturí esterilizado y se separaron los tejidos y órganos (piel, hígado, branquias y músculo). Cada tipo de tejido se colocó en charolas de cristal y se secaron en una estufa bacteriológica a 55°C hasta obtener un peso constante. Posteriormente, cada muestra se molió por separado en un molino Winkley. Ya

pulverizados los tejidos se sometieron a un proceso de digestión, se pesaron 1.0 g de muestra se depositaron en un matraz Kjendahl de 100 ml se le agrego 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, se pusieron a digerir hasta que estuvo cristalina la muestra, se filtraron con papel Whatman # 40 para evitar impurezas que pudieran interferir en la lectura del equipo, se aforaron en matraces de 100 ml con agua desionizada. El análisis de los metales se determinó de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-117-SSA1-1994 (NOM, 1994), mediante la técnica de “Espectrofotometría de Absorción Atómica” usando un equipo de absorción atómica Marca GBC modelo HG3000. Los datos obtenidos se registrarán de acuerdo con la NOM-027-SSA1-1993 (NOM, 1993) vigente, la cual consiste en dar un rango limite de los metales pesados que puede contener el pescado. Si no es posible procesar los peces el mismo día de su colecta, se deben de mantener en congelación en sus bolsas hasta su proceso, de acuerdo con la NOM (1993).

### ***VII.2 Trabajo de gabinete***

Una vez obtenido los resultados de las lecturas de los metales pesados en *M. curema* y sedimentos, se realizaron los análisis estadísticos paramétricos y no paramétricos. Los estadísticos paramétricos consistieron de un análisis de varianza múltiple para conocer si existen diferencias significativas entre cada uno de los tejidos, posteriormente se realizó otro análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas de los metales en las épocas climáticas del año, estos análisis se realizaron con el programa estadístico “Statgraphics plus” versión 3.0 Finalmente se llevó a cabo una correlación múltiple entre los parámetros fisicoquímicos con los metales, organismos y sedimentos para conocer cuál de estos influye con las concentraciones encontradas. Para ello se realizó un análisis no paramétrico de componentes principales con ayuda del programa NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System versión 2.02i.

## VIII. RESULTADOS

### VIII.1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos de la laguna de Tampamachoco, durante los catorce meses de muestreo.

Al caracterizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos de la laguna, se observó una variabilidad importante durante las tres épocas climáticas del año. Durante la época de lluvias y nortes la salinidad y conductividad presentaron valores bajos, en cambio en la época de secas se (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Comportamiento de parámetros fisicoquímicos de la laguna de Tampamachoco, Ver. de enero 2009 a febrero 2010

Parámetro	Valores		$\bar{X} \pm S$	*Promedios						
	Mínimo	Máximo	Anual	Mensual mínimo	Mensual máximo		secas	lluvias	nortes	
Temperatura (°C)	<b>17.84</b>	<b>31.54</b>	<b>26.20±3.45</b>	<b>19.05</b>	<b>feb-10</b>	<b>29.01</b>	<b>jun-09</b>	26.38	28.26	21.02
pH	<b>6.50</b>	<b>8.00</b>	<b>7.47± 0.38</b>	<b>6.50</b>	<b>ago-09</b>	<b>7.85</b>	<b>jul-09</b>	7.51	7.48	7.41
Salinidad (UPS)	<b>4.60</b>	<b>51.90</b>	<b>26.33± 10.77</b>	<b>7.15</b>	<b>sept-09</b>	<b>42.20</b>	<b>mar-09</b>	38.26	20.20	19.02
C.E. (mS/cm)	<b>8.34</b>	<b>71.38</b>	<b>39.59± 14.31</b>	<b>12.44</b>	<b>sept-09</b>	<b>59.38</b>	<b>mar-09</b>	54.48	31.33	35.30

Secas= marzo-mayo

\* por sitios

Lluvias= junio-octubre

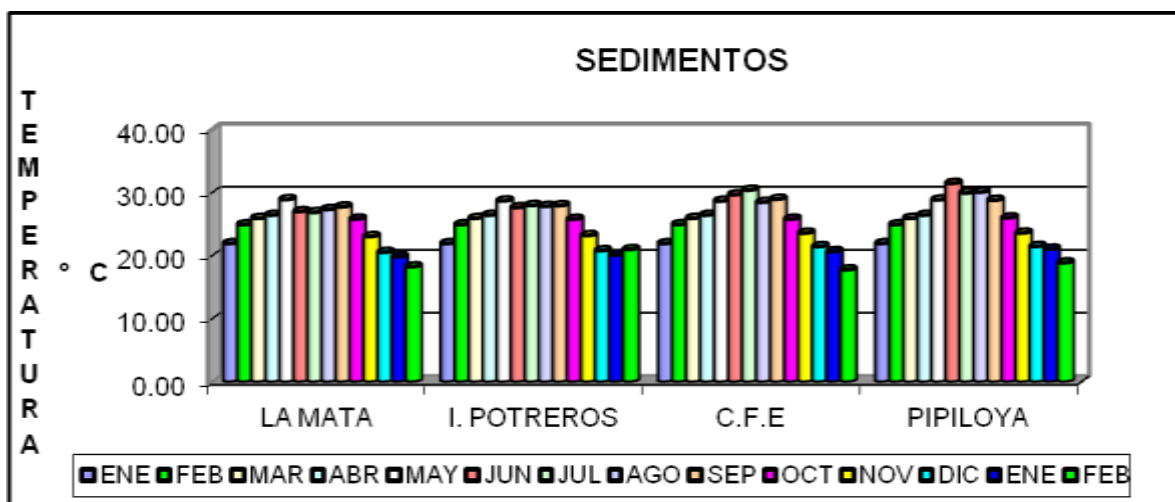
Nortes = noviembre-febrero

#### VIII.1.1 Temperatura

La variación de la temperatura durante los catorce meses de estudio fluctuó del valor más bajo que fue 17.8°C en febrero en el sitio (CFE) y la máxima en junio de 31.5°C en Pipiloya con un promedio de 25.22°C (Figura 2).

En las estaciones de muestreo se registró una temperatura mínima de 22°C en los 4 sitios de muestreo en enero, mientras que los valores de las temperaturas máximas presentaron variación entre los sitios, en La Mata la temperatura máxima se registró en

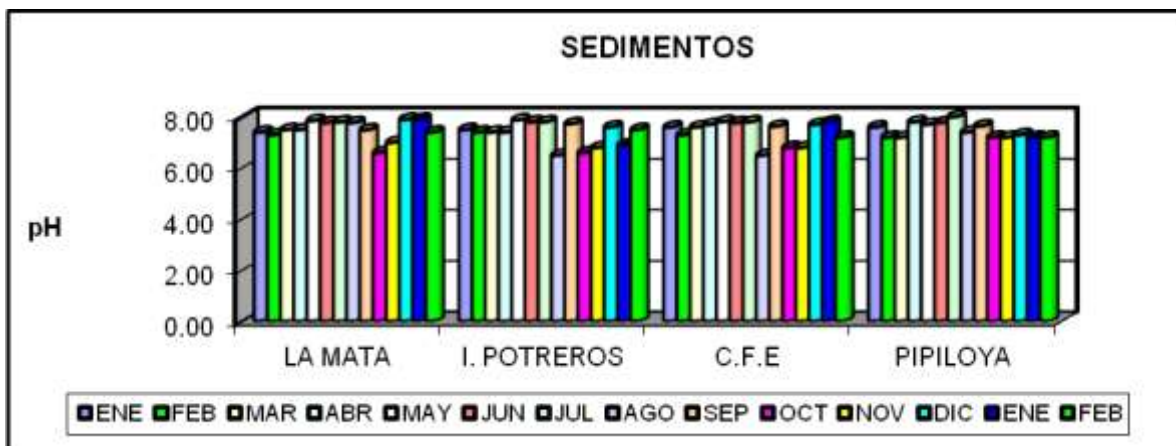
mayo con 28.9°C; en Isla Potreros también se registró en mayo con 28.7°C; en CFE el valor máximo se registro en julio con 30.4°C y en Pipiloya en junio con 31.5°C.



**Figura 2.** Registro de temperatura del sedimento de las cuatro estaciones de muestreo de enero 2009 a febrero 2010.

### VIII.1.2 pH

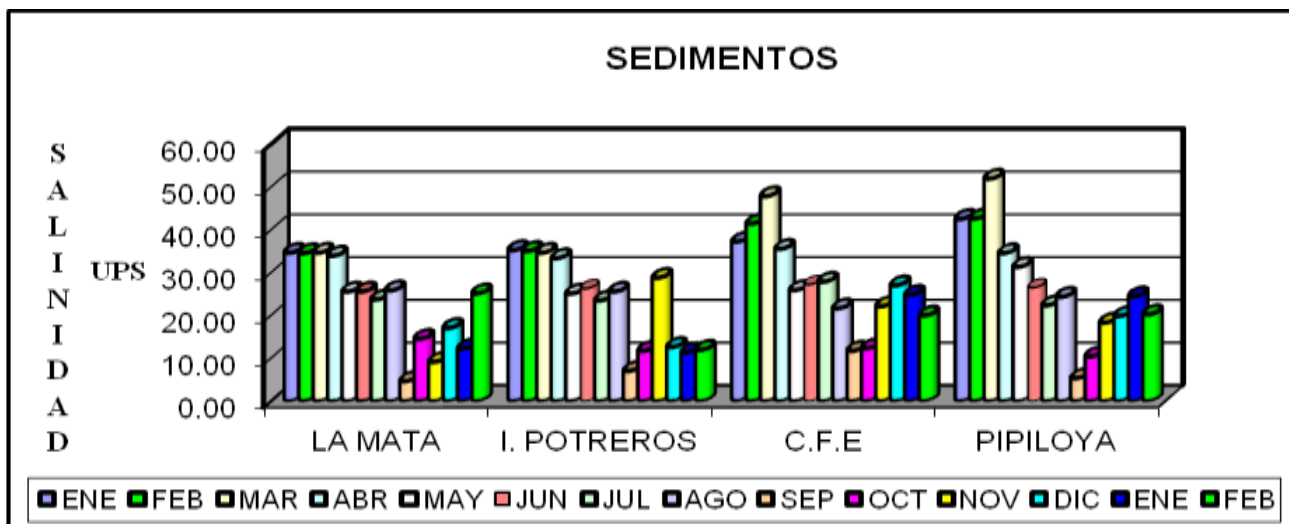
En relación al pH de los sedimentos (Figura 3), se presentó como valor mínimo de 6.50 con una tendencia ácida en agosto, en Isla Potreros y CFE, mientras que el pH máximo se registró en julio con un valor de 8.00 en Pipiloya, con un pH promedio de 7.40, ligeramente alcalino. Su comportamiento en cada uno de los sitios fue: en La Mata un pH mínimo de 6.60 en octubre y un máximo de 7.85 en mayo. En isla Potreros el pH mínimo fue de 6.50 en agosto y un valor máximo de 7.80 en junio. En CFE el pH mínimo fue de 6.50 (igual al de Isla Potreros) durante agosto y el máximo de 7.81 en mayo. En Pipiloya el pH mínimo fue de 7.20 en febrero y marzo, y el máximo en julio con 8.00.



**Figura 3.** Registro de pH del sedimento de las cuatro estaciones de muestreo de enero 2009 a febrero 2010.

### VIII.1.3 Salinidad

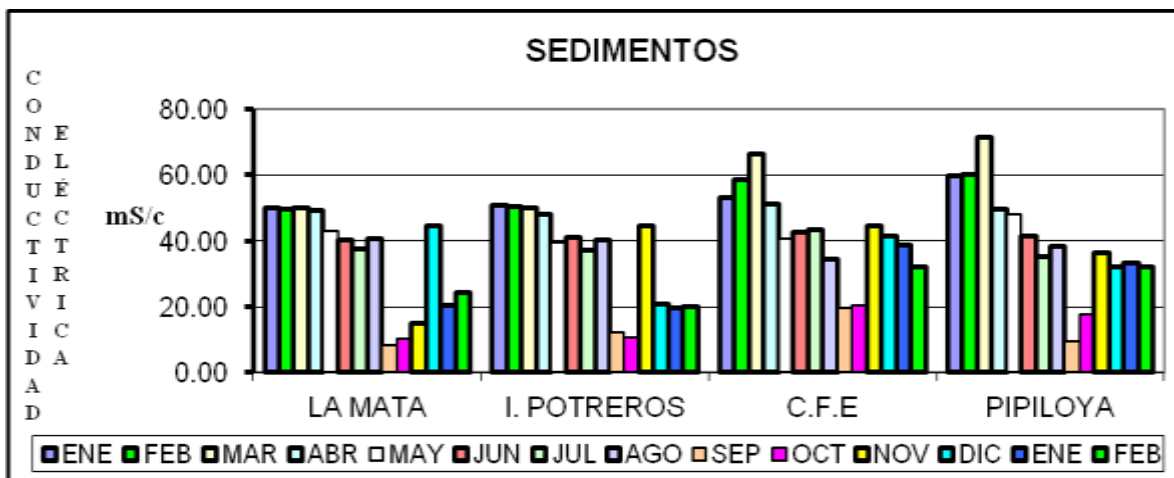
La salinidad en los sedimentos durante los meses de enero a septiembre registró un valor mínimo de 4.60 UPS en septiembre en La Mata y una máxima de 51.90 UPS en marzo en Pipiloya, con un promedio anual de 26.33 UPS (Figura 4). En todos los sitios de coleta, durante septiembre se presentaron valores muy bajos de salinidad, La mata con 4.60 UPS; Isla Potrerros 7.00 UPS; en CFE 11.69 UPS y en Pipiloya 5.29 UPS. Los valores máximos se presentaron durante marzo en tres sitios, La Mata con 34.60 UPS; en CFE con 47.80 UPS; en Pipiloya con 51.90 UPS, la única que difirió Isla Potrerros con 35.20 UPS en enero.



**Figura 4.** Registro de la salinidad en los sedimentos de las cuatro estaciones de muestreo de enero del 2009 a febrero del 2010.

#### VIII.1.4 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) que se registró en los sedimentos a lo largo de los catorce meses de estudio, el valor mínimo fue de 8.34 mS/cm en septiembre en La Mata, y el máximo se presentó en marzo con 71.38 mS/cm en Pipiloya, con un promedio de 36.93 mS/cm. La CE en las cuatro estaciones de muestreo durante septiembre se registraron los valores más bajos, en La Mata 8.34 mS/cm, en Isla Potreros 12.31 mS/cm, en CFE 19.55 mS/cm y en Pipiloya 9.56 mS/cm. Los valores máximos se presentaron en dos estaciones en marzo: en CFE con 66.31 mS/cm y en Pipilolya con 71.38 mS/cm y en febrero también en Pipiloya con una CE de 60.10 mS/cm (Figura 5).



**Figura 5.** Registro de la conductividad eléctrica de sedimentos de las cuatro estaciones de muestreo de enero 2009 a febrero del 2010

### *Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos*

El análisis de los datos obtenidos de cada una de las variables estudiadas, mostró un comportamiento homogéneo con diferencias no significativas: Temperatura (ANOVA,  $p=0.8762$ ), pH (ANOVA,  $p=0.7188$ ), Salinidad (ANOVA,  $p=0.5796$ ) y CE (ANOVA,  $p=0.5796$ ).

## **VIII.2 Metales pesados en sedimentos**

Los resultados de las concentraciones de metales pesados en sedimentos de la laguna de Tampamachoco Veracruz fueron las siguientes:

### **VIII.2.1 Plomo (Pb)**

La concentración de Pb en sedimentos en La Mata, se registró la mayor concentración en junio con 13.20 mg/kg y la menor en agosto con 1.09 mg/kg, con un valor promedio de 4.03 mg/kg para este sitio (Cuadro 2).

En Isla Potrerros, la mayor concentración se presentó en febrero de 2009 con 8.65 mg/kg y la menor en febrero del 2010 con 1.27 mg/kg, con un valor promedio de 3.36 mg/kg.

En CFE el mes que mayor concentración de Pb registró fue marzo con 25.17 mg/kg y la menor fue en noviembre con 1.35 mg/kg, con un valor promedio de 6.12 mg/kg.

En Pipiloya, la mayor concentración de Pb se registró con 9.80 mg/kg en febrero del 2009 y la menor concentración fue de 1.90 mg/kg en diciembre de 2010, con un valor promedio de 4.638 mg/kg.

**Cuadro 2.** Concentración promedio de Pb en sedimentos de los cuatro puntos de muestreo de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo enero 2009-febrero 2010

<b>Pb</b>	<b>La Mata(mg/kg)</b>	<b>Isla Potrerros(mg/kg)</b>	<b>C.F.E.(mg/kg)</b>	<b>Pipiloya(mg/kg)</b>
Enero	2.925	6.775	2.850	1.828
Febrero	6.575	<b>8.650</b>	6.275	<b>9.800</b>
Marzo	3.900	2.925	9.575	8.675
Abril	4.600	4.550	4.650	4.925
Mayo	3.675	4.350	4.200	3.675
Junio	<b>10.950</b>	3.825	7.175	6.875
Julio	2.675	1.925	4.675	5.300
Agosto	<b>2.175</b>	2.025	3.650	4.025
Septiembre	2.525	2.225	3.375	4.600
Octubre	3.575	1.750	4.700	5.725
Noviembre	3.000	1.200	<b>1.350</b>	2.550
Diciembre	7.525	3.650	2.950	<b>1.900</b>
Enero 2010	2.825	1.975	<b>25.170</b>	2.550
Febrero 2010	3.075	<b>1.275</b>	5.150	2.500
$\bar{X} \pm S$	<b>4.286±2.457</b>	<b>3.364±2.169</b>	<b>6.125±5.844</b>	<b>4.638±2.475</b>

LMP= límite máximo permitido 0.2 mg/kg NOM-001-SEMARNAT-1966 y la ECOOL-001-1996

Con base en los valores promedios del contenido de Pb durante los 14 meses en los cuatro sitios de muestreo, podemos decir que se rebasó el límite permisible que marca la norma NOM-ECOL-001-1996 y la NOM-001-SEMARNAT 1996 (modificada el 23 de



abril de 2003) de 0.2 mg/kg fue rebasado con valores altos. La Mata, en el mes de junio presentó un valor muy alto de 10.95 mg/kg, también en febrero en los sitios de Isla potreros con 8.65 mg/kg, y en Pipiloya con 9.80 mg/kg, y por último en el CFE en marzo con 9.57 mg/kg. En

***Las concentraciones de Pb en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco por épocas climáticas fueron las siguientes:***

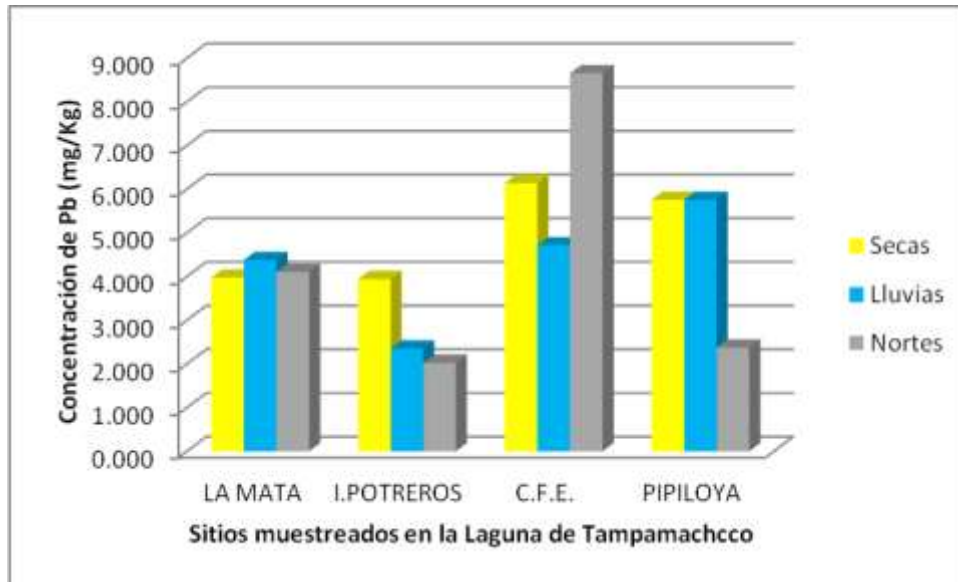
En La Mata, la mayor concentración de Pb se presentó en la época de Lluvias con 4.38 mg/kg, seguido de la época de nortes con 4.10 mg/kg, y en menor concentración la época de secas con 3.97 mg/kg siendo similares las concentraciones de este metal en las tres épocas, todas muy por encima de las marcadas por las normas (Figura 6).

En Isla Potreros, la época de secas fue la que registró una mayor concentración 3.94 mg/kg de Pb en los sedimentos, valor muy similar con el de las épocas de lluvias y nortes con 2.35 y 2.02 mg/kg.

En CFE, el punto que mayor concentración de Pb presentó fue en la época de nortes con 8.65 mg/kg seguida por 6.14 mg/kg en la época de secas, y por último se registró la menor concentración en la época de lluvias con 4.71 mg/kg (Figura 6).

En Pipiloya, la presencia de Pb fue similar en la época de secas y en lluvias con 5.75 mg/kg y menor con respecto a este valor en época de nortes.

Con base en la NOM-ECOL-001-1996 y la NOM-001-SEMARNAT 1996 (modificada el 23 de abril de 2003) que indican que los LMP deben ser de 1 mg/kg. Se observa que todos los valores registrados en los cuatro sitios de colecta, rebasaron los límites permisibles. Destacando con valores más altos de contaminación por este metal CFE, lugar donde se encuentra la Termoeléctrica “Adolfo López Mateos”.



. (LMP 0.2mg/kg NOM ECOL-001-1996)

**Figura 6.** Concentración promedio de Pb mg/kg (BS) en sedimentos, por épocas climáticas de los sitios muestreados en la Laguna de Tampamachoco, periodo enero 2009- febrero 2010.

### VIII.2.2 Cromo (Cr)

La mayor concentración de Cr en La Mata, se registró en enero del 2010 con 4.02 mg/kg, y la menor en junio y agosto, ambos meses con 1.67 mg/kg, con un valor promedio de 2.68 mg/kg (Cuadro 3).

En Isla potreros, la mayor concentración también se registró en enero del 2009 con 4.97 mg/kg, la menor se registró en agosto con 1.40 mg/kg, con un valor promedio de de 2.40 mg/kg.

En CFE la mayor concentración de Cr se registró en abril con 5.62 mg/kg, y la menor concentración se registró en noviembre con 2.12 mg/kg, con un valor promedio de 3.88 mg/Kg.

En Pipiloya, la mayor concentración de Cr que se registró en los sedimentos, fue en enero del 2010 con 4.32 mg/kg, la menor concentración se registró en diciembre con 0.17 mg/kg con un valor promedio de 3.32 mg/kg (Cuadro 3).

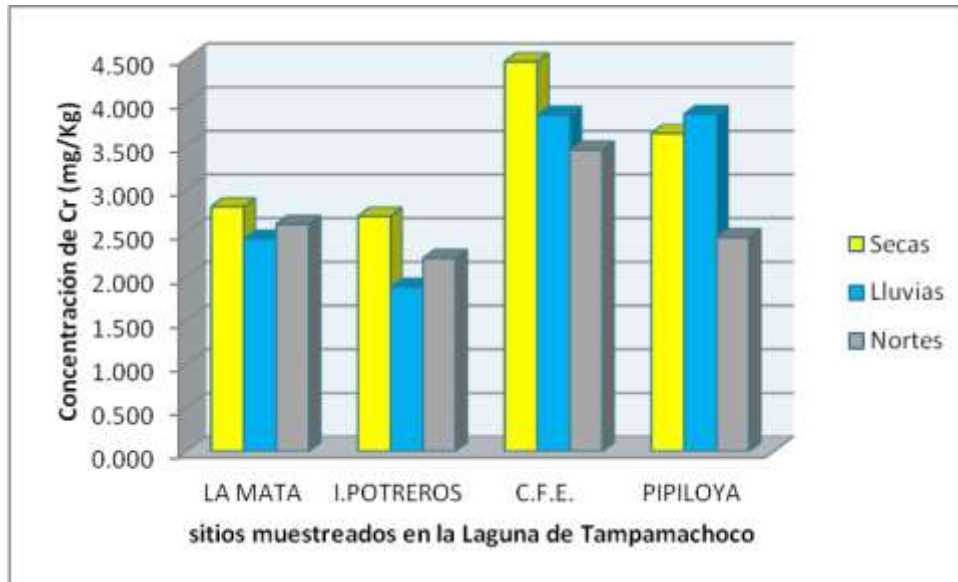
**Cuadro 3.** Concentración promedio de Cr (mg/kg) de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo enero 2009-febrero 2010.

Cr	La Mata(mg/kg)	Isla Potreros(mg/kg)	C.F.E.(mg/kg)	Pipiloya(mg/kg)
Enero	<b>4.025</b>	<b>4.975</b>	4.175	3.675
Febrero	2.650	2.375	3.650	2.775
Marzo	2.700	1.600	4.625	3.925
Abril	3.175	3.850	<b>5.625</b>	4.150
Mayo	2.525	2.625	3.150	2.850
Junio	<b>1.675</b>	1.800	4.500	4.125
Julio	3.475	2.725	3.600	3.350
Agosto	<b>1.675</b>	<b>1.400</b>	3.050	4.200
Septiembre	2.000	1.525	3.575	4.000
Octubre	3.350	1.950	4.550	3.625
Noviembre	2.750	2.375	<b>2.125</b>	2.675
Diciembre	2.525	2.900	4.000	<b>0.175</b>
Enero 2010	2.400	1.850	4.225	<b>4.325</b>
Febrero 2010	2.725	1.750	3.475	2.625
$\bar{X} \pm S$	<b>2.689±0.665</b>	<b>2.407±0.993</b>	<b>3.880±0.847</b>	<b>3.320±1.091</b>

LMP= límite máximo permitido LMP 0.5mg/kg NOM-ECOL-001-1996

La concentración de Cr por épocas climáticas de la región, en los cuatro sitios de muestreo (La Mata, Isla potreros, CFE y Pipiloya), se presentó en la época de secas (2.80, 2.69, 4.46 y 3.64 mg/kg) respectivamente para cada sitio (Figura 7).

De las concentraciones más bajas, en La Mata se registro 2.43 mg/kg, y en Isla Potreros con 1.88 mg/kg. Estas se presentaron en la época de lluvias, mientras que en CFE se registro 3.85 mg/kg y en Pipiloya con 2.45 mg/kg la menor concentración se presentó en la época de nortes con 2.210 mg/kg (Figura 7).



LMP 0.5mg/kg NOM-ECOL-001-1996

**Figura 7.** Concentración promedio de Cr (mg/kg) en sedimentos por épocas climáticas de los sitios muestreados en Laguna de Tampamachoco, periodo enero 2009-febrero 2010.

En la época de secas, esto es durante los meses de marzo a mediados de mayo, se registraron los valores más altos de Cr, rebasando los LMP de la NOM-001\_ECOL.1996, de 0.5 a 1 mg/kg. La normatividad mexicana aún no ha establecido algún límite máximo permisible en sedimentos, por lo que se retomó la NOM antes mencionada, que se utiliza para el monitoreo de estos metales en productos pesqueros congelados. (Figura 7).

### VIII.2.3 Cadmio (Cd)

La norma NOM-001-ECOL-1996 establece que el rango permitido de Cd en los sedimentos es de 0.1- 0.2 mg/kg, por otra parte, la norma análoga emitida por parte del Gobierno de Hong Kong, establece como límite máximo 1 mg/kg (se tomaron los valores permisibles de este país ya que en México no están establecidos para este metal). Durante los catorce meses de muestreo no se detectó en ninguno de los cuatro sitios la presencia de este metal.

**Cuadro 4.** Concentración promedio de Cd (mg/kg) de los cuatro sitios de muestreo en Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo enero 2009-febrero 2010

<b>Cd</b>	<b>La Mata (mg/kg)</b>	<b>Isla Potreros (mg/kg)</b>	<b>CFE (mg/kg)</b>	<b>Pipiloya (mg/kg)</b>
Enero	ND	ND	ND	ND
Febrero	ND	ND	ND	ND
Marzo	ND	ND	ND	ND
Abril	ND	ND	ND	ND
Mayo	ND	ND	ND	ND
Junio	ND	ND	ND	ND
Julio	ND	ND	ND	ND
Agosto	ND	ND	ND	ND
Septiembre	ND	ND	ND	ND
Octubre	ND	ND	ND	ND
Noviembre	ND	ND	ND	ND
Diciembre	ND	ND	ND	ND
Enero 2010	ND	ND	ND	ND
Febrero 2010	ND	ND	ND	ND

. LMP= límite máximo permitido LMP 0.1- 0.2 mg/kg NOM-ECOL-001-1996  
 ND = No detectado

### VIII.2.4 Bario (Ba)

El Ba se registró en concentraciones altas en Julio para 3 de los cuatro sitios. En La Mata con 54.41 mg/kg, en Isla Potreros (47.75 mg/kg) y en Pipiloya 55.80mg/kg (Cuadro 5). En CFE, la mayor concentración se presentó en enero del 2010 con valor de 58.45 mg/kg. (Cuadro 5).

Las concentraciones más bajas para todos los sitios de muestreo, se registraron en enero del 2009, en La Mata se registró 11.53 mg/kg, Isla potreros con 19.04 mg/kg, CFE. 8.44 mg/kg y en Pipiloya con 2.67 mg/kg. En Pipiloya se registró la concentración más baja durante todo el año de muestreos.

Las concentraciones promedios de Ba para los sitios de muestreo se presentan en el Cuadro 5, donde presenta el valor más alto, con 36.240 mg/kg, presentándose en valores

muy similares en CFE con 31.841mg/kg y Pipiloya con 31.841mg/kg, presentando el valor más bajo Isla

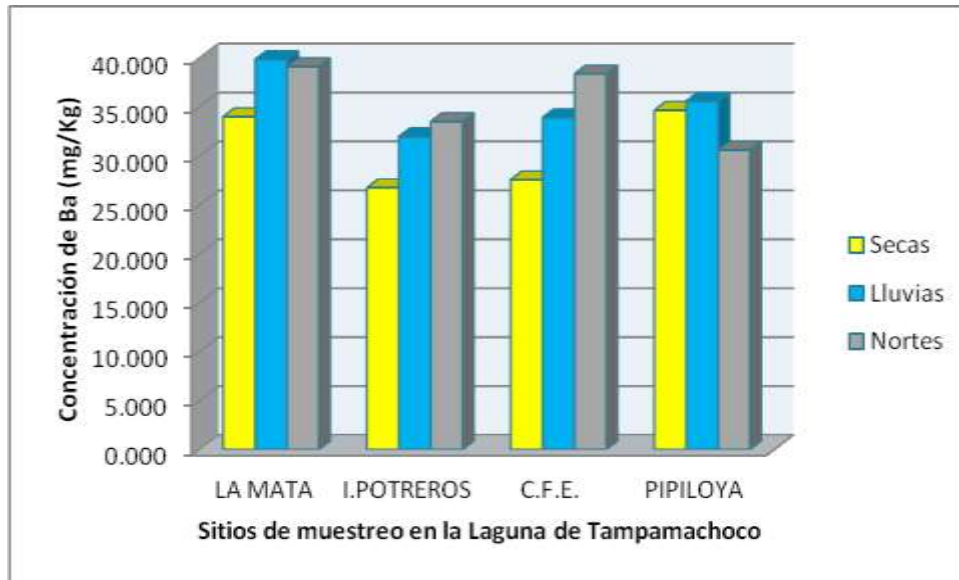
**Cuadro 5.** Concentración promedio de Ba (mg/kg) de los cuatro sitios de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo enero 2009-febrero 2010

Ba	Isla		CFE (mg/kg)	Pipiloya (mg/kg)
	La Mata (mg/kg)	Potreros (mg/kg)		
Enero	<b>11.535</b>	<b>19.047</b>	<b>8.445</b>	<b>2.675</b>
Febrero	37.953	26.688	31.410	28.350
Marzo	24.593	22.863	21.585	47.613
Abril	34.445	27.435	23.210	19.110
Mayo	43.025	30.005	37.915	37.295
Junio	53.460	47.610	49.360	46.333
Julio	<b>54.413</b>	<b>47.750</b>	44.413	<b>55.805</b>
Agosto	28.585	22.475	25.793	30.598
Septiembre	30.668	22.268	25.200	22.550
Octubre	32.263	19.813	24.888	22.785
Noviembre	44.360	34.575	29.898	31.105
Diciembre	26.020	33.738	36.250	25.928
Enero 2010	41.565	30.153	<b>58.458</b>	31.050
Febrero 2010	44.580	35.620	28.958	34.368
$\bar{X} \pm S$	<b>36.240±11.762</b>	<b>30.030±9.200</b>	<b>31.841±12.704</b>	<b>31.112±13.280</b>

LMP= límite máximo permitido LMP 0.05 mg/kg (CECA, 1989)

Las concentraciones de Ba registradas por épocas climáticas, en los sitios de Isla potreros y CFE registraron las mayores concentraciones de este metal en la época se nortes, mientras que en La Mata y Pipiloya se registraron la mayor concentración en la épocas de lluvias (Figura 8).

Las concentraciones más bajas se registraron en tres sitios, La Mata con 34.02 mg/kg, Isla Potreros con 26.76 mg/kg y CFE con 27.57 mg/kg, todas se registraron en época de secas. Isla Potreros fue la localidad en la que se reportó la concentración más baja de todos los puntos de muestreo y de las tres épocas. Para el sitio de Pipiloya la concentración más baja se registró en la época de nortes con 30.61 mg/kg.



LMP 0.05 mg/kg (CECA, 1989)

**Figura 8.** Concentración promedio de Ba (mg/kg) en sedimentos por épocas climáticas de los sitios de muestreo en Laguna de Tampamachoco.

### VIII.2.5 Cobre (Cu)

En La Mata la mayor concentración de Cu, se registró en enero del 2010 con 7.40 mg/kg y la menor se presentó en junio con 2.90 mg/kg. El valor promedio para este punto fue de 4.40 mg/kg (Cuadro 6).

Para Isla Potrerros, la mayor concentración se registró en enero del 2009 con 9.05 mg/kg, mientras que la menor se presentó en agosto con 2.07 mg/kg, con un valor promedio de 4.01 mg/kg.

En CFE, el mes que mayor concentración de Cu se registró en abril con 27.55 mg/kg y la menor en noviembre con 3.30 mg/kg. El valor promedio obtenido en este punto fue de 7.34 mg/kg.

En Pipiloya, marzo fue el mes que mayor concentración de Cu registró con 7.60 mg/kg) y en diciembre del 2010 se registró la menor con 1.32 mg/kg. El valor promedio en este punto fue 5.16 mg/kg (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Concentración promedio de Cu (mg/kg) de los cuatro sitios de muestreo en Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo enero 2009-febrero 2010.

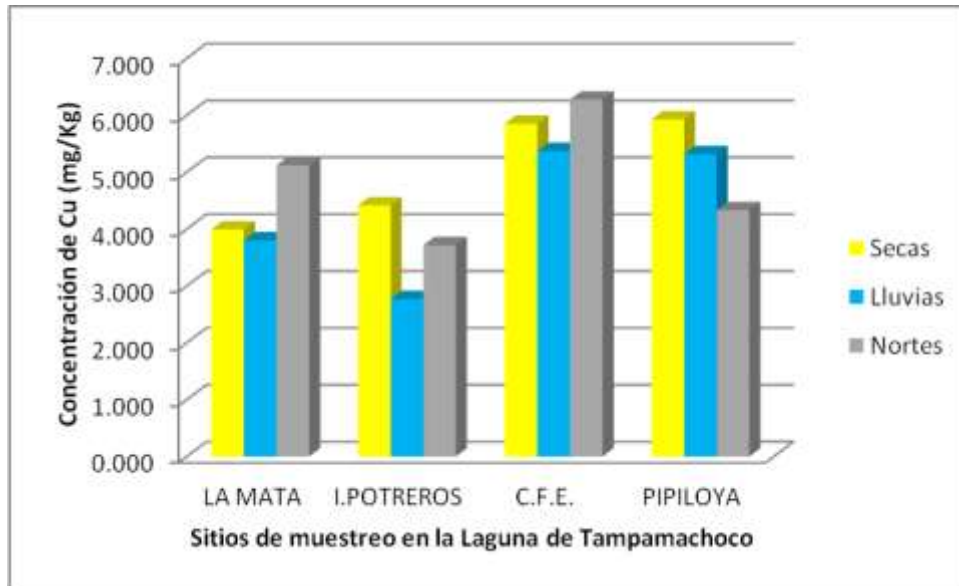
Cu	La	Isla	CFE (mg/kg)	Pipiloya (mg/kg)
	Mata (mg/kg)	Potreros (mg/kg)		
Enero	5.675	<b>8.925</b>	5.775	5.200
Febrero	4.200	5.350	7.100	5.450
Marzo	3.950	2.975	5.875	<b>7.600</b>
Abril	3.800	6.325	7.275	6.250
Mayo	4.225	3.950	4.400	3.925
Junio	<b>2.900</b>	3.000	5.175	5.025
Julio	3.850	3.650	4.900	4.675
Agosto	3.500	<b>2.075</b>	4.825	4.900
Septiembre	4.150	2.375	5.350	6.050
Octubre	4.625	2.750	6.600	5.925
Noviembre	4.175	3.375	<b>3.300</b>	4.950
Diciembre	5.150	5.600	5.775	<b>1.325</b>
Enero 2010	<b>7.400</b>	3.425	<b>7.150</b>	6.275
Febrero 2010	3.750	2.450	8.875	4.775
$\bar{X} \pm S$	<b>4.382±1.101</b>	<b>4.016±1.906</b>	<b>5.884±1.421</b>	<b>5.166±1.430</b>

LMP= límite máximo permitido LMP 0.003 mg/kg (CECA, 1989) y FAO 1989 con 32.5 mg/kg

En cuanto a las concentraciones registradas en las épocas climáticas, las mayores concentraciones se presentaron en la época de secas para 3 de los cuatro sitios, con excepción de La Mata. En Isla Potreros con 4.41 mg/kg, CFE con 5.85 mg/kg y Pipiloya 6.40 mg/kg, siendo este último el punto con la mayor concentración registrada para las cuatro épocas y los cuatro puntos. En La Mata se registró la mayor concentración en la época de nortes con 5.11 mg/kg.

Las concentraciones más bajas de Cu, para las épocas estacionales, en La Mata se registró 3.99 mg/kg en secas, mientras que en Isla Potrero se repostó 2.77 mg/kg, CFE con 5.37 mg/kg durante la época de lluvias y para Pipiloya 4.33 mg/kg, se presentó en la época de nortes (Figura 9).





LMP 0.003 mg/kg (CECA, 1989)

**Figura 9.** Concentración promedio de Cu (mg/kg) en sedimentos por épocas climáticas de los sitios muestreados en la Laguna de Tampamachoco, periodo enero 2009 a febrero 2010

### VIII.2.6 Mercurio (Hg)

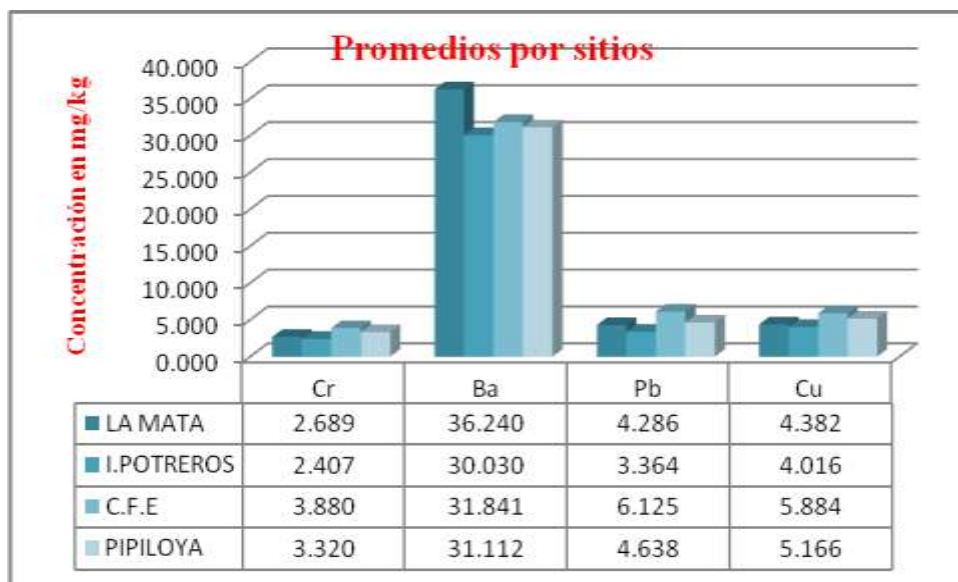
Durante los catorce meses de muestreo en sedimentos, no se detectó la presencia de Hg en los meses de febrero y marzo, periodo que coincide con la época de secas y que es un factor determinante de su ausencia. En los demás meses se reportó la presencia de este metal en muy altas concentraciones, las cuales rebasaron la sensibilidad del equipo, por lo que no se obtuvieron resultados. EL LMP para este metal es de 0.01 mg/kg según la norma NOM-ECOL-001-1996 (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Concentración promedio de Hg (mg/kg) de los cuatro sitios de muestreo en Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo enero 2009-febrero 2010

Hg	La	Isla	CFE (mg/kg)	Pipiloya (mg/kg)
	Mata (mg/kg)	Potreros (mg/kg)		
Enero	ALTO	ALTO	ALTO	ND
Febrero	ND	ND	ND	ND
Marzo	ND	ND	ND	ND
Abril	ALTO	ALTO	ALTO	ND
Mayo	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Junio	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Julio	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Agosto	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Septiembre	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Octubre	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Noviembre	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Diciembre	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Enero 2010	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Febrero 2010	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

LMP= límite máximo permitido 0.01 mg/kg NOM-001-SEMARNAT-1966 y la ECOOL-001-1996  
 ND = No detectado. ALTO= rebasa el límite de sensibilidad del equipo

En los promedios generales se puede apreciar que los metales de Cr, Ba, Pb y Cu, rebasan los LMP, el Ba se encuentra en mayor cantidad presente (Figura 9a).



**Figura 9a.** Valores promedio por metal (mg/kg) en los sedimentos enero 2009-febrero 2010.

### **VIII.3 Metales pesados en tejidos de *Mugil curema***

A continuación se muestran los resultados de los análisis de metales pesados obtenidos con base en las determinaciones en 14 ejemplares y 56 muestras de sedimentos. La determinación de concentraciones de metales pesados fue realizada con ayuda de un espectrofotómetro de absorción atómica. Los datos que aquí se presentan tienen una confiabilidad de 90%, basado en el porcentaje de recuperación obtenido del material de referencia certificado, el cual se fue introduciendo durante la lectura en el equipo.

Algunos autores han argumentado que los peces tienen la capacidad de adaptarse a los metales pesados, cuando se exponen a cantidades crecientes de estos contaminantes. (Addison, 1988 *En Botello et al.*, 2005). La tolerancia de las especies a los metales pesados está determinada en gran medida por la tasa de absorción y acumulación de estos en sus tejidos, lo cuales pueden convertirse en tóxicos, cuando extralimitan las dosis máximas sin efecto por ingesta en seres humanos.

En los ejemplares de *M. curema* estudiados durante este trabajo, se registró la presencia de Pb, Cr, Cd, Ba, Cu y Hg. A continuación se presentan las concentraciones máximas, mínimas y promedios para cada uno de ellos.

#### **VIII.3.1 Plomo (Pb)**

La concentración más alta de Pb en el músculo de *M. curema* se presentó en julio con 25.7 mg/kg, la concentración más baja se registró en febrero del 2009 con 0.47 mg/kg. Cabe mencionar que en enero, marzo y mayo del 2009 no se registró la presencia de este metal. El valor promedio anual fue de 9.98 mg/kg.

La concentración más alta en piel fue en el mes de abril con 48.85 mg/kg y la menor concentración fue en el mes de febrero del 2009 con 1.47 mg/kg (cuadro 8), presentando un valor anual promedio de 16.31 mg/kg, en los meses de enero y mayo del 2009, no se detectó mercurio.

En las branquias la concentración más alta se registró en el mes de junio con 71.86 mg/kg, y la menor se presentó en el mes de mayo con 2.72 mg/kg (Cuadro 8), no se detectó en enero del 2009, su valor promedio anual fue de 41.23 mg/kg.

Finalmente en el hígado la mayor concentración de Pb se presentó en el mes de junio con 15.81 mg/kg y la menor en marzo con 2.52 mg/kg y en enero de 2009 no fue detectado, su valor promedio anual fue de 6.56 mg/kg.

**Cuadro 8.** Concentración mensual de plomo (mg/kg) de enero 2009- febrero 2010 en diferentes tejidos de *M. curema*.

<b>Pb</b>	<b>Músculo (mg/kg)</b>	<b>Piel (mg/kg)</b>	<b>Branquias (mg/kg)</b>	<b>Hígado (mg/kg)</b>
Enero	ND	ND	ND	ND
Febrero	<b>0.473</b>	<b>1.471</b>	22.300	2.660
Marzo	ND	3.560	37.360	2.526
Abril	1.248	<b>48.855</b>	41.535	7.075
Mayo	ND	ND	<b>2.720</b>	ND
Junio	8.218	22.665	<b>71.866</b>	<b>15.810</b>
Julio	<b>25.772</b>	25.945	40.448	13.024
Agosto	4.835	6.740	34.128	<b>2.222</b>
Septiembre	11.325	15.065	46.128	7.523
Octubre	2.920	3.315	39.785	4.080
Noviembre	4.480	5.633	38.603	2.749
Diciembre	11.765	17.343	58.730	5.310
Enero 2010	15.020	17.443	43.640	4.305
Febrero 2010	20.728	27.698	58.790	11.468
$\bar{X} \pm S$	<b>9.980±8.287</b>	<b>16.310±13.976</b>	<b>41.233±19.764</b>	<b>6.562±4.836</b>

LMP= límite máximo permitido LMP 0.5 mg/kg NOM-242-SSA-1-2009

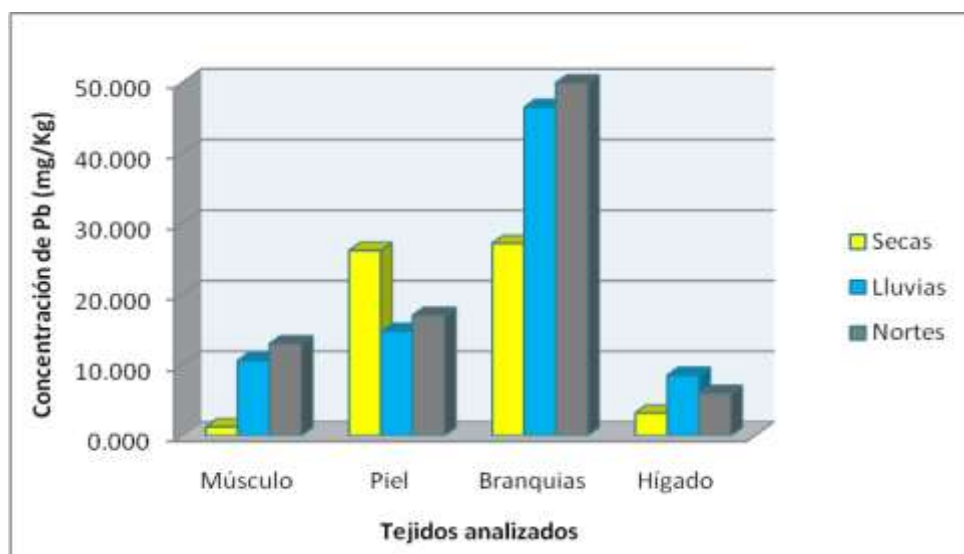
ND =No detectado

De acuerdo a las épocas climáticas del año, la mayor concentración de Pb en músculo de *M. curema*, se presentó en la época de nortes 12.99 mg/kg, en menor concentración en lluvias (10.61 mg/kg) y finalmente en secas (1.24 mg/kg, (Figura 10).

En la piel la mayor concentración se presentó en la época de secas 26.20 mg/kg, la menor se presentó en lluvias 14.74 mg/kg.

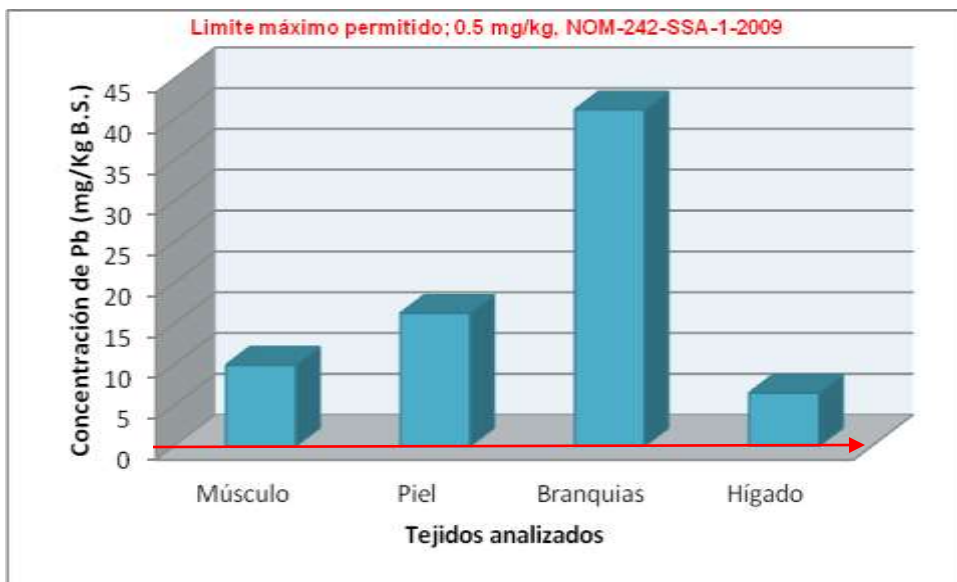
En cuanto a las branquias, la mayor concentración se presentó en nortes con 49.94 mg/kg, muy similar a la presentada en la época de lluvias con 46.47 mg/kg y la menor fue en secas con 27.20 mg/kg).

Finalmente en hígado la época climática que mayor Pb registró fue en lluvias con 8.53 mg/kg seguida con 5.95 mg/kg en la época de nortes y la menor concentración se registró en secas con 3.20 mg/kg. (Figura 11)



LMP 0.5 mg/kg NOM-242-SSA-1-2009

**Figura 10.** Concentración de Pb (mg/kg) por épocas climáticas del año, en tejidos de *M. curema*. Periodo enero 2009- febrero 2010



**Figura 11.** Concentraciones promedio de Pb en tejidos de *M. curema* de la Laguna de Tampamachoco, periodo de enero 2009-2010

### VIII.3.2 Cromo (Cr)

La concentración más alta de Cr en el músculo de *M. curema* se presentó en el mes de enero del 2009 con 3.40 mg/kg y la concentración más baja se presentó en diciembre 0.15 mg/kg, y en siete meses no fue detectado (febrero del 2009, marzo abril y mayo, julio y noviembre). El valor promedio anual fue de 1.08 mg/kg (Cuadro 8).

En la piel, la concentración más alta fue en el mes de octubre con 6.75 mg/kg y la menor concentración en el mes de marzo con 0.20 mg/kg, no se detectó en los meses de enero, febrero del 2009 y tampoco en mayo y junio. El valor anual promedio fue de 2.20 mg/kg.

La concentración de Cr más alta en las branquias, se registró en julio con 1.65 mg/kg, la menor se presentó en el mes de agosto de 2009 y enero de 2010 con 0.30 mg/kg, tampoco hubo presencia durante los meses de enero, febrero de 2009, marzo, mayo y junio, el valor promedio anual fue de 0.85 mg/kg.

Finalmente en el hígado la mayor concentración de Cr se presentó en junio con 1.75 mg/kg y la menor en marzo con 0.07 mg/kg, no se detectó en el mes de septiembre y su valor promedio anual de 0.64 mg/kg.

**Cuadro 9.** Concentración mensual de Cr (mg/kg) de enero 2009- febrero 2010 en diferentes tejidos de *M. curema*

Cr	Músculo(mg/kg)	Piel(mg/kg)	Branquias (mg/kg)	Hígado(mg/kg)
Enero	<b>3.400</b>	ND	ND	0.250
Febrero	ND	ND	ND	1
Marzo	ND	<b>0.200</b>	ND	<b>0.075</b>
Abril	ND	ND	1.450	0.425
Mayo	ND	0.300	ND	1.050
Junio	0.925	2.175	ND	<b>1.750</b>
Julio	ND	ND	<b>1.650</b>	0.437
Agosto	0.200	6.025	<b>0.300</b>	0.200
Septiembre	0.675	2.730	0.400	ND
Octubre	0.650	<b>6.750</b>	0.325	1.275
Noviembre	ND	0.500	0.500	0.475
Diciembre	<b>0.150</b>	1	<b>0.300</b>	0.312
Enero 2010	1.400	0.475	1.575	ND
Febrero 2010	1.300	0.690	1.200	0.575
$\bar{X} \pm S$	<b>1.087±0.994</b>	<b>2.205±2.237</b>	<b>0.856±0.632</b>	<b>0.647±0.522</b>

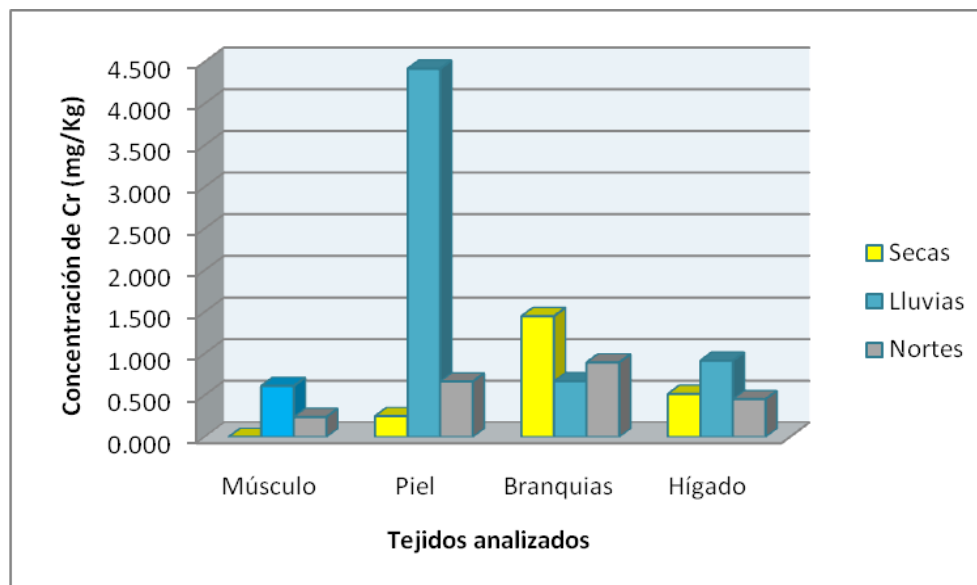
LMP= límite máximo permitido      LMP 1 mg/kg Gobierno de Hong Kong

Para las épocas climáticas del año, la que mayor concentración de Cr se presentó en músculo de *M. curema*, fue en la época de lluvias con 0.61 mg/kg) y en época de secas no se detectó el metal, la menor concentración que presentó fue en lluvias con 0.86 mg/kg (Figura 12).

En la piel la mayor concentración de Cr se presentó en la época de lluvias 4.42 mg/kg y la menor se presentó en época de secas con 0.25mg/kg.

En cuanto a las branquias, la mayor concentración se registró en secas 1.45 mg/kg y la menor fue en lluvias con 0.66 mg/kg.

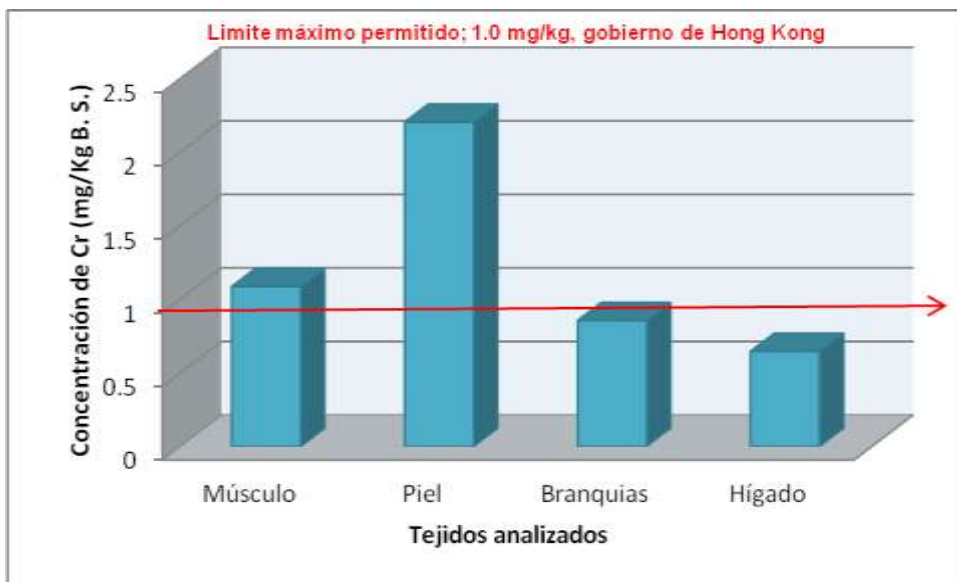
En el hígado en lluvias presentó mayor concentración con 0.91 mg/kg y la menor concentración se registró en nortes con 0.45 mg/kg (Figura 12).



LMP 1 mg/kg Gobierno de Hong Kong

**Figura 12.** Concentración de Cr (mg/kg) por épocas climáticas del año en tejidos de *M. Curema*, periodo enero 2009- febrero 2010





**Figura 13.** Concentraciones promedio de Cr en tejidos de *M. curema* de la Laguna de Tampamachoco

### VIII.3.3. Cadmio (Cd)

La concentración más alta de Cd en los meses de muestreo en el músculo de *M. curema* se presentó en el mes de junio con 0.92 mg/kg y la más baja fue en septiembre con 0.10 mg/kg (Cuadro 10), Cabe destacar que en diez de los catorce meses no se detectó y en dos se registro ALTO El valor promedio anual de este elemento fue de 0.51 mg/kg.

En piel la concentración más alta fue en el mes de junio con 1.31 mg/kg y la menor concentración de 0.25 mg/kg en febrero. El valor promedio anual registró un valor de 0.92 mg/kg. También en este caso en nueve meses no fue detectado el metal y en dos se presentó como ALTO y no fue registrado por el equipo de absorción atómica.

En las branquias se registró en mayo una concentración de 3.12 mg/kg, siendo la mayor, la menor se presentó en el mes de enero del 2010 con 0.60 mg/kg (cuadro 10), y se registró una lectura más en el mes de abril de 1.52 mg/kg, en los nueve meses restantes no se detectó, su valor promedio anual fue de 1.74 mg/kg.

Con respecto al hígado la mayor concentración de Cd se presentó en el mes de junio con 1.75 mg/kg y la menor en septiembre con 0.05 mg/kg (Cuadro 10), el valor promedio para este elemento fue de 0.56 mg/kg.

**Cuadro 10.** Concentración mensual de Cd (mg/kg) de enero 2009- febrero 2010 en diferentes tejidos de *M. curema*

<b>Cd</b>	<b>Músculo(mg/kg)</b>	<b>Piel(mg/kg)</b>	<b>Branquias (mg/kg)</b>	<b>Hígado(mg/kg)</b>
Enero	ND	ND	ND	0.200
Febrero	ND	ND	ND	0.600
Marzo	ND	0.250	ND	0.075
Abril	ALTO	ALTO	1.524	ALTO
Mayo	ALTO	ALTO	3.124	ALTO
Junio	0.925	1.315	ND	1.750
Julio	ND	ND	ND	0.437
Agosto	ND	ND	ND	0.262
Septiembre	0.100	1.200	ND	ND
Octubre	ND	ND	ND	1.287
Noviembre	ND	ND	ND	0.375
Diciembre	ND	ND	ND	0.050
Enero 2010	ND	ND	0.600	0.975
Febrero 2010	ND	ND	ND	0.200
<b><math>\bar{X} \pm S</math></b>	<b>0.513±0.412</b>	<b>0.922±0.526</b>	<b>1.749±0.897</b>	<b>0.565±0.533</b>

LMP= límite máximo permitido LMP 0.5 NOM-027-SSA1-1993

ALTO= rebasa el límite de sensibilidad del equipo

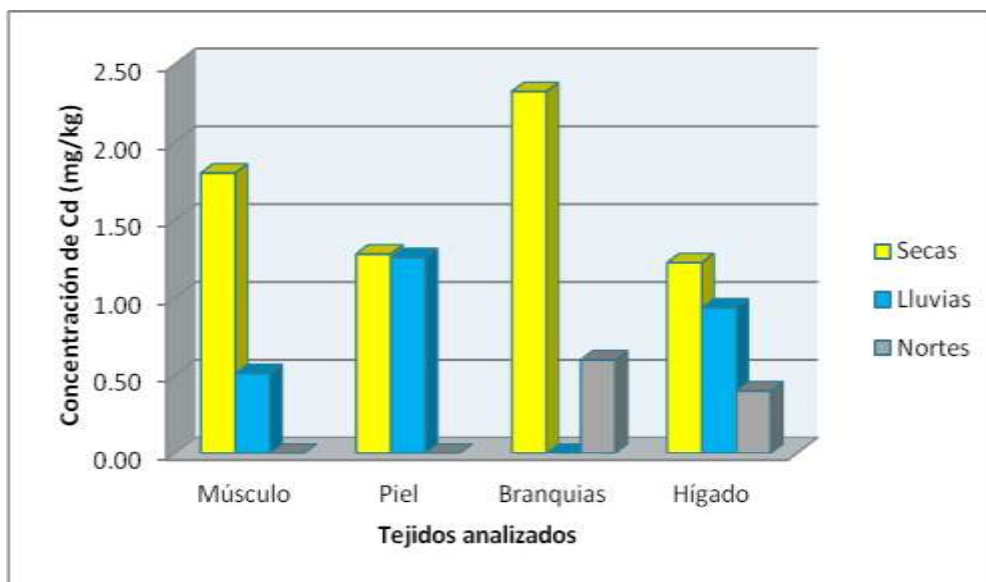
ND = No detectado

Con respecto a las épocas climáticas del año, la mayor concentración de Cd en músculo de *M. curema*, se presentó en la época de secas con 1.80 mg/Kg, y en lluvias con 0.51 mg/kg y no hubo presencia en la época de nortes. (Figura 14).

En la piel la concentración más alta se presentó en la época de secas con 1.28 mg/kg y en lluvias con 1.26 mg/kg, muy similar a la de secas y donde tampoco hubo presencia de este elemento durante la época de nortes.

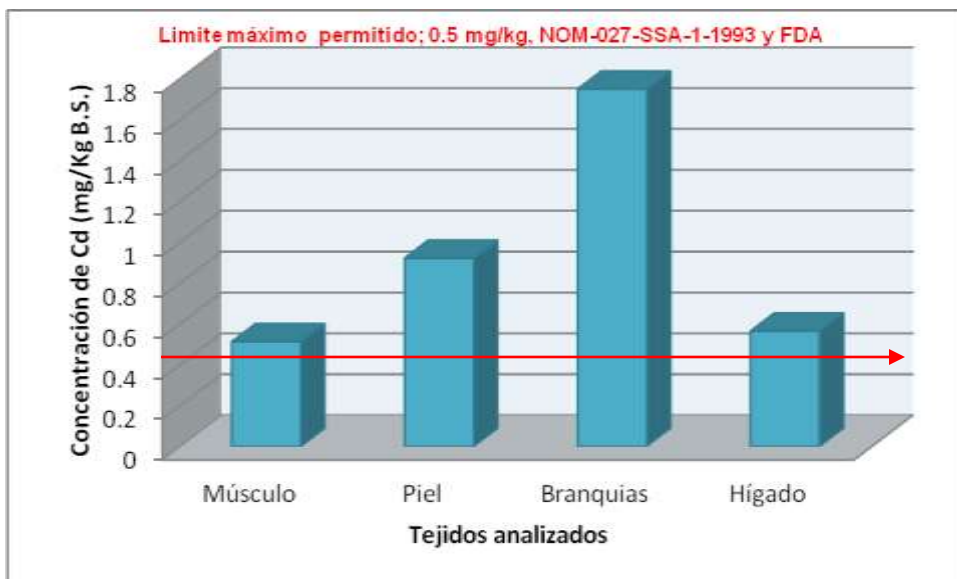
En cuanto a las branquias, el registro mayor se presentó en secas con 2.32 mg/kg, y en lluvias no hubo presencia y en época de nortes con 0.60 mg/kg.

Finalmente en hígado la época climática que mayor Cd registró fue en secas con 1.23 mg/kg y la que menor concentración registró fue la época de nortes con 0.40 mg/kg, en lluvias su presencia fue de 0.93 mg/kg (Figura 15).



LMP 0.5 NOM-027-SSA1-1993

**Figura 14.** Concentración promedio de Cd (mg/kg) por épocas climáticas del año en tejidos de *M. curema*. Periodo enero 2009- febrero 2010.



**Figura 15.** Concentraciones promedio de Cd en tejidos de *M. curema* de la Laguna de Tampamachoco. Periodo enero 2009- febrero 2010.

### VIII.3. 4 Bario (Ba)

El Ba en el músculo de *M. curema* presentó la mayor concentración en el mes de julio con 25.77 mg/kg y la concentración más baja se presentó en febrero del 2009 con 0.47 mg/kg, en enero del 2009, en marzo y en mayo del mismo año, el Ba no fue detectado. El valor promedio anual fue de 9.66 mg/kg (Cuadro 11).

La concentración más alta en la piel de *M. curema*, se presentó con 27.69 mg/kg en febrero de 2010 y la menor fue en el mes de febrero del 2009, con 1.47 mg/kg, tampoco fue detectado este metal en los meses de enero de 2009 y mayo. El valor anual promedio fue de 14,04 mg/kg.

La concentración de Ba más alta en las branquias, se registró en junio con 71.86 mg/kg, y la menor concentración en mayo de 4.16 mg/kg, y al igual que en músculo y piel, el Ba, no fue detectado en el mes de enero de 2009, (Cuadro 11), el valor promedio anual fue de 43.26 mg/kg.

Finalmente en el hígado la mayor concentración de Ba se presentó en el mes de junio con 15.81mg/kg y la menor fue en agosto de 2.22 mg/kg, que al igual que los demás tejidos, no fue detectado el Ba en los meses de enero de 2009 y mayo, el valor promedio anual fue de 7.57 mg/kg.

**Cuadro 11.** Concentración mensual de Ba (mg/kg) de enero 2009- febrero 2010 en diferentes tejidos de *M. curema*

Ba	Músculo(mg/kg)	Piel(mg/kg)	Branquias (mg/kg)	Hígado(mg/kg)
Enero	ND	ND	ND	ND
Febrero	<b>0.473</b>	<b>1.470</b>	47.000	2.660
Marzo	ND	12.590	35.665	3.983
Abril	1.248	11.940	43.450	11.940
Mayo	ND	ND	<b>4.160</b>	ND
Junio	8.217	22.665	<b>71.867</b>	<b>15.810</b>
Julio	<b>25.772</b>	25.946	40.448	13.024
Agosto	4.355	6.740	34.128	<b>2.223</b>
Septiembre	11.323	15.065	46.128	7.523
Octubre	2.920	3.965	39.785	4.080
Noviembre	4.480	5.633	38.603	4.045
Diciembre	11.763	17.343	58.730	5.310
Enero 2010	15.020	17.443	43.640	8.863
Febrero 2010	20.7275	<b>27.697</b>	58.79	11.4675
$\bar{X} \pm S$	<b>9.663±8.300</b>	<b>14.041±9.422</b>	<b>43.261±19.156</b>	<b>7.577±5.017</b>

LMP= límite máximo permitido

LMP 0.5 mg/kg NOM-242-SSA-1-2009

ND = No detectado

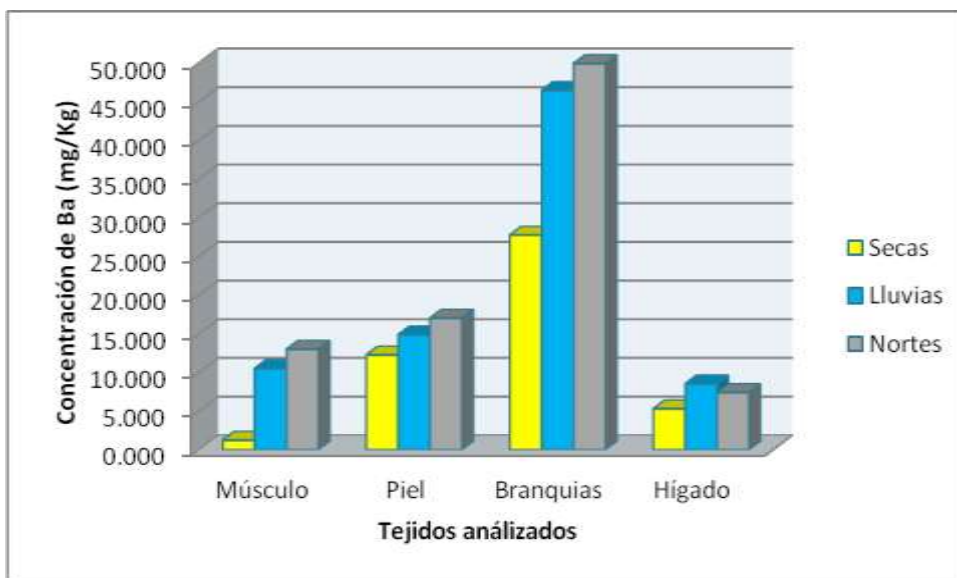
Con respecto a las épocas climáticas del año, la que mayor concentración de Ba presentó en músculo de *M. curema*, fue la época de nortes con 12.99 mg/kg, y la de menor se presentó en secas con 1.24 mg/kg, lluvias registró valores de 10.51 mg/kg, figura 16

En piel la mayor concentración se presentó en la época de nortes de 17.02 mg/kg y la menor se presentó en secas con 12.26 mg/kg. Lluvias con 14.87 mg/kg.

En cuanto a las branquias, la mayor concentración registrada fue en nortes con 49.94 mg/kg, muy similar a la de lluvias con 46.47 mg/kg y la menor fue en la época de

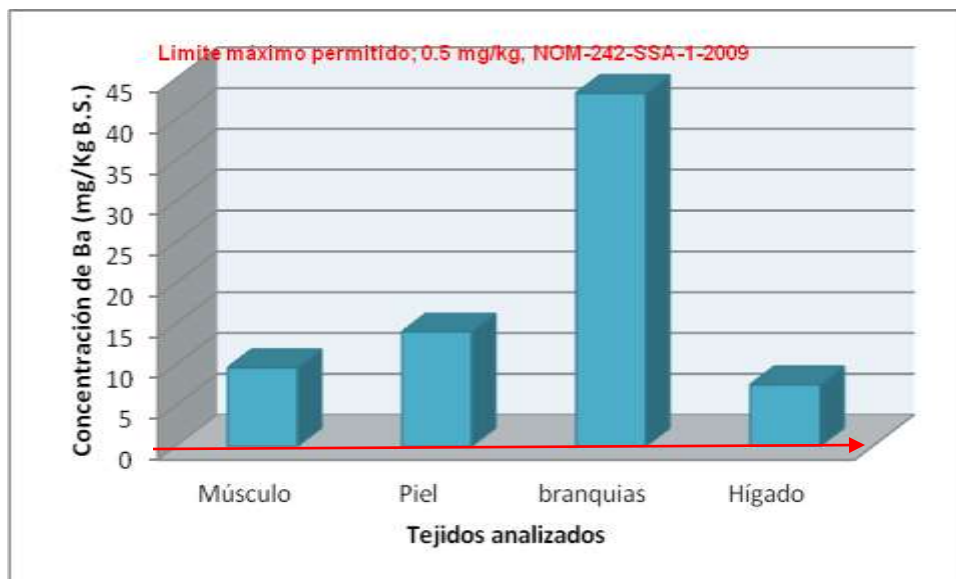
secas con 27.75 mg/kg. Hay que resaltar que las branquias presentan mayor contenido de Ba con respecto a los demás tejidos.

En el hígado la época climática que mayor Ba registró fue en lluvias con 8.53 mg/kg y de manera similar se reporta el Ba en la época de nortes con 7.42 mg/kg, la menor concentración se registró en secas con 5.33 mg/kg (Figura 16 y 17).



LMP 0.5 mg/kg NOM-242-SSA-1-2009

**Figura 16.** Concentración promedio de Ba (mg/kg por épocas climáticas del año en tejidos de *M. curema*. Periodo enero 2009- febrero 2010



**Figura 17.** Concentraciones promedio de Ba en tejidos de *M. curema* de la Laguna de Tampamachoco. Periodo enero 2009- febrero 2010

### VIII.3. 5 Cobre (Cu)

La concentración más alta de Cu en los meses de muestreo en el músculo de *M. curema* se presentó en el mes de enero del 2009 con 24.05 mg/kg y la más baja fue en octubre con 0.45 mg/kg (Cuadro 12), el valor promedio anual de este elemento fue de 3.33 mg/kg.

En la piel la concentración más alta también se presentó en el mes de enero del 2009 con 26.02 mg/kg y la menor fue en el mes de noviembre (1.25 mg/kg). El valor promedio anual se registró de 6.28 mg/kg.

La concentración más alta en las branquias se registró también en el mes de enero del 2009 con una concentración de 56.39 mg/kg y la menor se presentó en el mes de octubre con 3.45 mg/kg, en abril reportó un valor ALTO, con un valor promedio anual de 8.13 mg/kg.

Con respecto al hígado la mayor concentración de Cu se presentó en el mes de septiembre con 48.93 mg/kg y la menor en enero con 4.90 mg/kg, en siete meses nos reportó un valor ALTO con respecto a la sensibilidad del equipo para detectar el metal El valor promedio anual para este elemento fue de 25.99 mg/kg.

**Cuadro 12.** Concentración mensual de Cu (mg/kg) de enero 2009- febrero 2010 en diferentes tejidos de *M. curema*

<b>Cu</b>	<b>Músculo(mg/kg)</b>	<b>Piel(mg/kg)</b>	<b>Branquias (mg/kg)</b>	<b>Hígado(mg/kg)</b>
Enero	<b>24.058</b>	<b>26.020</b>	<b>56.395</b>	<b>4.900</b>
Febrero	5.025	18.225	25.325	38.400
Marzo	1.175	3.625	4.850	18.319
Abril	1.125	3.825	ALTO	11.963
Mayo	0.875	6.650	4.250	ALTO
Junio	2.225	5.150	3.725	ALTO
Julio	1.453	1.975	4.700	ALTO
Agosto	1.475	6.175	3.575	12.183
Septiembre	<b>4.050</b>	3.250	4.650	<b>48.937</b>
Octubre	0.450	2.800	<b>3.450</b>	47.251
Noviembre	1.275	<b>1.250</b>	4.850	ALTO
Diciembre	0.950	2.150	4.025	ALTO
Enero 2010	0.900	2.000	4.575	ALTO
Febrero 2010	1.600	4.900	7.175	ALTO
$\bar{X} \pm S$	<b>3.331±6.100</b>	<b>6.285±7.067</b>	<b>10.119±14.686</b>	<b>25.996±17.995</b>

LMP= límite máximo permitido      LMP 32.5 mg/kg FAO (1983)

Las Normas mexicanas aún no tienen establecido los límites permisibles del Cu, en organismos acuáticos, por lo que se tomó como referencia los emitidos por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1983) establecida para moluscos y la cual maneja como límite permisible de 32 mg/kg , pudiéndose observar que en los valores promedio no se rebasó estos límites , pero si en el hígado en los meses de septiembre y octubre que presentaron valores por encima de los LMP emanados por esta organización.

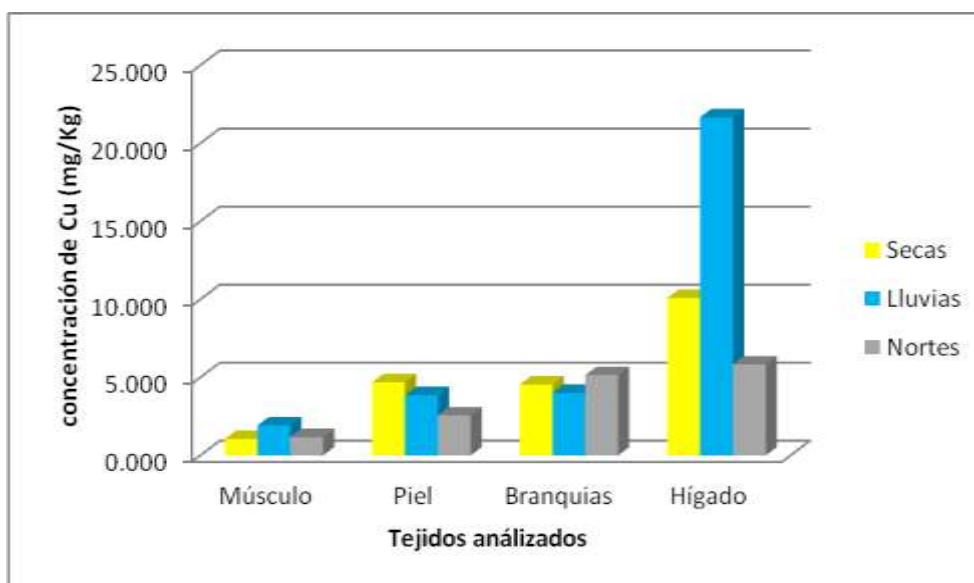
Para las épocas climáticas del año, la mayor concentración de Cu en músculo de *M. curema*, se presentó en la época de lluvias, 1.93 mg/kg y la de menor concentración fue la época de secas con 1.05 mg/kg (Figura 18).



En la piel de *M. curema* la mayor concentración se presentó en la época de secas de 4.70 mg/kg, seguida por la época de lluvias con 3.87 y por último la época de nortes, fue la que menor concentración presentó con 2.55 mg/kg.

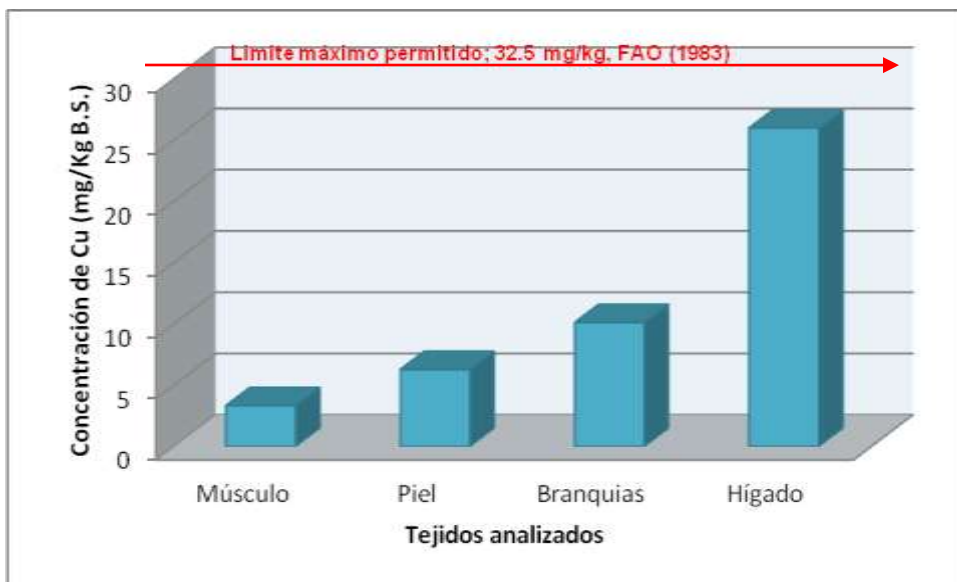
En cuanto a las branquias, la mayor concentración se presentó en la época de nortes con, 5.15 mg/kg, de manera similar en secas con 4.55 mg/kg y la menor en la época de lluvias con 4.02 mg/kg.

Finalmente en hígado la época climática que mayor contenido de Cu registró fue en lluvias con 21.67 mg/kg seguida por la época de secas con 10.09 y la que menor concentración registró fue la época de nortes con 5.83 mg/kg (Figura 19).



LMP 32.5 mg/kg FAO (1983)

**Figura 18.** Concentración de Cu (mg/kg) por épocas climáticas del año en tejidos de *M. curema*. Periodo enero 2009- febrero 2010



**Figura 19.** Concentraciones promedio de Cu en tejidos de *M. curema* de la Laguna Tampamachoco, Ver. Periodo enero 2009- febrero 2010

### VIII.3. 6 Mercurio (Hg)

El comportamiento de las mediciones del Hg en los diferentes tejidos de *M. curema*, mostró consistencia con la medición del mismo metal en los diferentes sedimentos, pues durante el periodo de febrero y marzo, no se detectó la presencia de este metal en ninguno de los tejidos. Así mismo, para el caso del músculo e hígado, los valores rebasaron la sensibilidad de medición del equipo por lo que se considero ALTO su concentración en estos tejidos, lo cual es un comportamiento análogo durante este mismo periodo, a las concentraciones en los diferentes sitios de muestreos (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Concentración mensual de Hg (mg/kg) de enero 2009- febrero 2010 en diferentes tejidos de *M. curema*

Hg	Músculo(mg/kg)	Piel(mg/kg)	Branquias (mg/kg)	Hígado(mg/kg)	Desv. Std
Enero	ND	ND	ND	ND	
Febrero	ND	ND	ND	ND	
Marzo	ND	ND	ND	ND	
Abril	ALTO	ALTO	ND	ALTO	
Mayo	ALTO	ALTO	ND	ALTO	
Junio	ALTO	ALTO	ND	ALTO	
Julio	ALTO	ND	ND	ALTO	
Agosto	ALTO	ND	ND	ALTO	
Septiembre	ALTO	ND	ND	ALTO	
Octubre	ALTO	ND	ND	ALTO	
Noviembre	ALTO	ND	ND	ALTO	
Diciembre	ALTO	ND	ND	ALTO	
Enero 2010	ALTO	ND	ND	ALTO	
Febrero 2010	ALTO	ALTO	ND	ALTO	145.93

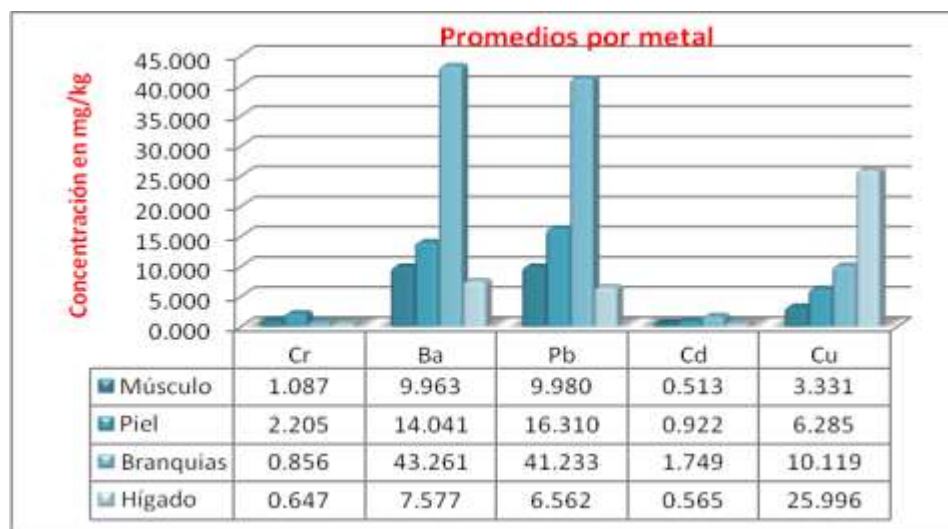
LMP= límite máximo permitido

LMP 1.0 mg/kg NOM-242-SSA-1-2009

ND = No detectado

ALTO= rebasa el límite de sensibilidad del equipo

Se puede observar la presencia de Bario y Plom de manera sobresaliente en las branquias rebasando muy por encima los límites máximos permisibles citados por las normas. Figura 19a.



**Figura 19a.** Valores promedio por metal (mg/kg) en los diferentes tejidos enero 2009- febrero 2010 en diferentes tejidos de *M. curema*

## **VIII.4 Análisis estadístico**

### **VIII.4.1 Análisis paramétricos en sedimentos y tejidos**

#### **Comparación estadística de las concentraciones de los metales pesados en sedimentos**

Se hicieron diferentes análisis de varianza para hacer la comparación de las concentraciones de los metales pesados en los sedimentos, encontrándose lo siguiente.

Pb y Ba no presentaron diferencias estadísticamente significativas por lo que se consideran iguales. Los valores de Pb  $f_{3-52}$  y  $p = 0.2402$  donde CFE presentó concentraciones de 6.1246 e Isla Potreros con 3.3642 y Ba  $f_{3-52}$  y  $p = 0.5282$ , en La Mata con valores de 36.2475 y nuevamente en cantidades más bajas en I. potrero con 30.0029

En relación con los otros metales en el Cr y el Cu si existen diferencias estadísticamente significativas, donde Cr  $f_{3-52}$  y  $p = 0.0004$  con presencia en CFE de 3.8806 e Isla Potreros de 2.4071 y el Cu  $f_{3-52}$  y  $p = 0.0429$  con concentraciones nuevamente en CFE de 7.3410 e Isla Poteros con 4.01607

#### **Comparación estadística de las concentraciones de los metales pesados en tejidos**

La comparación de las concentraciones de los metales pesados (Cd, Cr y Cu) en los tejidos no presentó diferencias estadísticamente significativas entre ellos. El cadmio  $f_{3-52} = 1.17$ ,  $p = 0.3315$  está presente en el hígado con concentraciones de 0.4437 y el músculo con 0.07321. El cromo  $f_{3-52} = 1.78$ ,  $p = 0.1623$ , con valores en piel de 1.4889, está presente en mayor cantidad que en las branquias con 0.550 y con el cobre  $f_{3-52} = 0.89$  y  $p = 0.4541$  en el hígado con 24.2603 está presente en mayor cantidad que en el músculo (6.21813). Por otro lado en el caso del Ba  $f_{3-52} = 25.79$  y  $p = 0.0000$ , donde las branquias presentaron valores de 40.171 y el hígado estuvo presente en menor cantidad de 6.4948 y también estuvo presente el plomo  $f_{3-52} = 18.67$  y  $p = 0.0000$  en el hígado, donde nuevamente las branquias tuvieron valores altos (38.2881 y el hígado de 5.6251, si existieron diferencias estadísticamente significativas con respecto a los otros metales, resaltando que las branquias registraron la mayor concentración de estos metales y en el hígado valores muy bajos.

#### **VIII.4.2. Análisis no paramétricos de componentes principales de sedimentos y tejidos**

Se realizaron 2 análisis no paramétricos de componentes principales, con el propósito de evaluar cuales son las variables que explican el mayor porcentaje de la varianza acumulada en los dos primeros componentes. El primer análisis corresponde a los tejidos de músculo, piel, branquias e hígado de *M. curema* durante 14 meses de colecta, considerando como variables (=caracteres) a seis metales (Pb, Cr, Cd, Cu, Ba y Hg) y variables fisicoquímicas de temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica.

El segundo análisis es de muestras de sedimentos en cuatro sitios (La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya) durante 14 meses de colecta, considerando las mismas variables usadas en el análisis de tejidos.

Los análisis se realizaron con ayuda del programa NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System versión 2.02i, con los siguientes pasos:

Se realizaron 2 análisis no paramétricos de componentes principales, con el propósito de evaluar cuales son las variables que explican el mayor porcentaje de la varianza acumulada en los dos primeros componentes. El primer análisis corresponde a los tejidos de músculo, piel, branquias e hígado de *M. curema* durante 14 meses de colecta, considerando como variables (=caracteres) a seis metales (Pb, Cr, Cd, Cu, Ba y Hg) y variables fisicoquímicas de temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica.

El segundo análisis es de muestras de sedimentos en cuatro sitios (La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya) durante 14 meses de colecta, considerando las mismas variables usadas en el análisis de tejidos.

Los análisis se realizaron con ayuda del programa NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System versión 2.02i, con los siguientes pasos:

1. Estandarización de la matriz básica de datos, por filas (caracteres) con la opción de sustracción por el método YBAR, en donde la medida de cada variable y es substraída,

mientras que en la opción de división el método fue de STD, en donde la diferencia es dividida por la desviación estándar.

2. Obtención de una matriz de correlación entre caracteres, a través de la opción SimInt, con el código para coeficiente CORR, que la correlación del producto-momento.

3. Cálculo de eigenvectores y eigenvalores, mediante la opción Eigen. Se extrajeron los primeros tres ejes de la matriz de correlación y se realizó con el método SQRT (LAMBDA), donde la longitud es igual a la raíz cuadrada de un eigenvalor.

4. Proyección de los OTUS (objetos de trabajo) en el espacio delimitado por los factores o componentes. La proyección se realizó por columnas, con el método  $P = F^t O$ . Donde F es la variable por K dimensiones de la matriz factor y O es la matriz de entrada que fue estandarizada con n variables y t objetos (por default, los objetos corresponden a las columnas, pero otra opción puede ser que las filas corresponden a los objetos).

5. Visualización de los resultados en un gráfico bidimensional por medio de la opción 2D Plot. El trazo se realizó por filas.

### **Argumentación de caracteres**

Se realizaron dos matrices de datos básicas: La de tejidos, que está conformada por 56 columnas que se etiquetaron con letras mayúsculas y 22 filas correspondientes a las variables (Cuadro 14). Siendo la otra matriz la correspondiente a sedimentos la cual se conformó por 56 columnas que también se etiquetaron con letras mayúsculas y 10 filas (Cuadro 15).

**Cuadro 14.** OTUS considerados en el análisis de tejidos

A = Músculo, enero 2009	O = Piel, enero 2009	AC = Branquias, enero 2009	AQ = Hígado, enero 2009
B = Músculo, febrero 2009	P = Piel febrero 2009	AD = Branquias febrero 2009	AR = Hígado febrero 2009
C = Músculo, marzo 2009	Q = Piel, marzo 2009	AE = Branquias, marzo 2009	AS = Hígado, marzo 2009
D = Músculo, abril 2009	R = Piel, abril 2009	AF = Branquias, abril 2009	AT = Hígado, abril 2009
E = Músculo, mayo 2009	S = Piel, mayo 2009	AG = Branquias, mayo 2009	AU = Hígado, mayo 2009
F = Músculo, junio 2009	T = Piel, junio 2009	AH = Branquias, junio 2009	AV = Hígado, junio 2009
G = Músculo, julio 2009	U = Piel, julio 2009	AI = Branquias, julio 2009	AW = Hígado, julio 2009
H = Músculo, agosto 2009	V = Piel, agosto 2009	AJ = Branquias, agosto 2009	AX = Hígado, agosto 2009
I = Músculo, sept. 2009	W = Piel, sept. 2009	AK = Branquias, sept. 2009	AY = Hígado, sept. 2009
J = Músculo, octb. 2009	X = Piel octb. 2009	AL = Branquias octb. 2009	AZ = Hígado octb. 2009
K = Músculo, nov. 2009	Y = Piel, nov. 2009	AM = Branquias, nov. 2009	BA = Hígado, nov. 2009
L = Músculo, dic. 2009	Z = Piel, dic. 2009	AN = Branquias, dic. 2009	BB = Hígado, dic. 2009
M = Músculo, enero 2010	AA = Piel, enero 2010	AO = Branquias, enero 2010	BC = Hígado, enero 2010
N = Músculo, febrero 2010	AB = Piel, febrero 2010	AP= Branquias, febrero 2010	BD= Hígado, febrero 2010

***Variables (=caracteres) considerados en el análisis de tejidos:***

1. Concentración de Pb en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado.

Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.06mg/kg), se codificaron como cero.

2. Concentración de Cd en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado.

Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.009mg/kg), se codificaron como cero.

3. Concentración de Cr en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado.

Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.05mg/kg), se codificaron como cero.

4. Concentración de Ba en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado.

Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.18mg/kg), se codificaron como cero.

5. Concentración de Cu e en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado.

Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.025mg/kg), se codificaron como cero.

6. Concentración de Hg en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado. Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (1.6mg/kg), se codificaron como cero.

7. Temperatura del sitio La Mata
8. Temperatura del sitio Isla Potreros
9. Temperatura del sitio CFE.
10. Temperatura del sitio Pipiloya.
11. pH del sitio La Mata.
12. pH del sitio Isla Potreros.
13. pH del sitio CFE.
14. pH del sitio Pipiloya
15. Salinidad del sitio La Mata.
16. Salinidad del sitio Isla Potreros.
17. Salinidad del sitio CFE
18. Salinidad del sitio Pipiloya.
19. Conductividad eléctrica del sitio La Mata.
20. Conductividad eléctrica del sitio Isla Potreros.
21. Conductividad eléctrica del sitio CFE.
22. Conductividad eléctrica del sitio Pipiloya.



**Cuadro 15.** OTUS considerados en el análisis de sedimentos

A = La Mata, enero 2009	O = I. Potrero, enero 2009	AC = CFE, enero 2009	AQ = Pipiloya, enero 2009
B = La Mata, febrero 2009	P = I. Potrero, febrero 2009	AD = CFE, febrero 2009	AR = Pipiloya, febrero 2009
C = La Mata, marzo 2009	Q = I. Potrero, marzo 2009	AE = CFE, marzo 2009	AS = Pipiloya, marzo 2009
D = La Mata, abril 2009	R = I. Potrero, abril 2009	AF = CFE, abril 2009	AT = Pipiloya, abril 2009
E = La Mata, mayo 2009	S = I. Potrero, mayo 2009	AG = CFE, mayo 2009	AU = Pipiloya, mayo 2009
F = La Mata, junio 2009	T = I. Potrero, junio 2009	AH = CFE, junio 2009	AV = Pipiloya, junio 2009
G = La Mata, julio 2009	U = I. Potrero, julio 2009	AI = CFE, julio 2009	AW = Pipiloya, julio 2009
H = La Mata, agosto 2009	V = I. Potrero, agosto 2009	AJ = CFE, agosto 2009	AX = Pipiloya, agosto 2009
I = La Mata, sept. 2009	W = I. Potrero, sept. 2009	AK = CFE, sept. 2009	AY = Pipiloya, sept. 2009
J = La Mata, octb. 2009	X = I. Potrero, octb. 2009	AL = CFE, octb. 2009	AZ = Pipiloya, octb. 2009
K = La Mata, nov. 2009	Y = I. Potrero, nov. 2009	AM = CFE, nov. 2009	BA = Pipiloya, nov. 2009
L = La Mata, dic. 2009	Z = I. Potrero, dic. 2009	AN = CFE, dic. 2009	BB = Pipiloya, dic. 2009
M = La Mata, enero 2010	AA = I. Potrero, enero 2010	AO = CFE, enero 2010	BC = Pipiloya, enero 2010
N = La Mata, febrero 2010	AB = I. Potrero, febrero 2010	AP= CFE, febrero 2010	BD= Pipiloya, febrero 2010

***Caracteres considerados en el análisis de sedimentos (cuadro 15)***

1. Concentración de Pb en *sedimentos* los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya. Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.06mg/kg) se codificaron como cero.

2. Concentración de Cd en *sedimentos* en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya. Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.009mg/kg) se codificaron como cero.

3. Concentración de Cr en *sedimentos* en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya. Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.05mg/kg) se codificaron como cero.

4. Concentración de Ba en *sedimentos* en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya. Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.18mg/kg) se codificaron como cero.

5. Concentración de Cu en *sedimentos* en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya. Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (0.025mg/kg) se codificaron como cero.

6. Concentración de Hg, en *sedimentos* en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya. Las concentraciones menores al límite de detección del equipo (1.6mg/kg) se codificaron como cero.

7. Variación de Temperatura en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya.

8. Variación de pH en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya.

9. Variación de salinidad en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya.

10. Variación de conductividad eléctrica en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya.

#### **VIII.4.2.1 Análisis de Componentes Principales para la base de datos de los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado en 14 meses de muestreo y 22 variables**

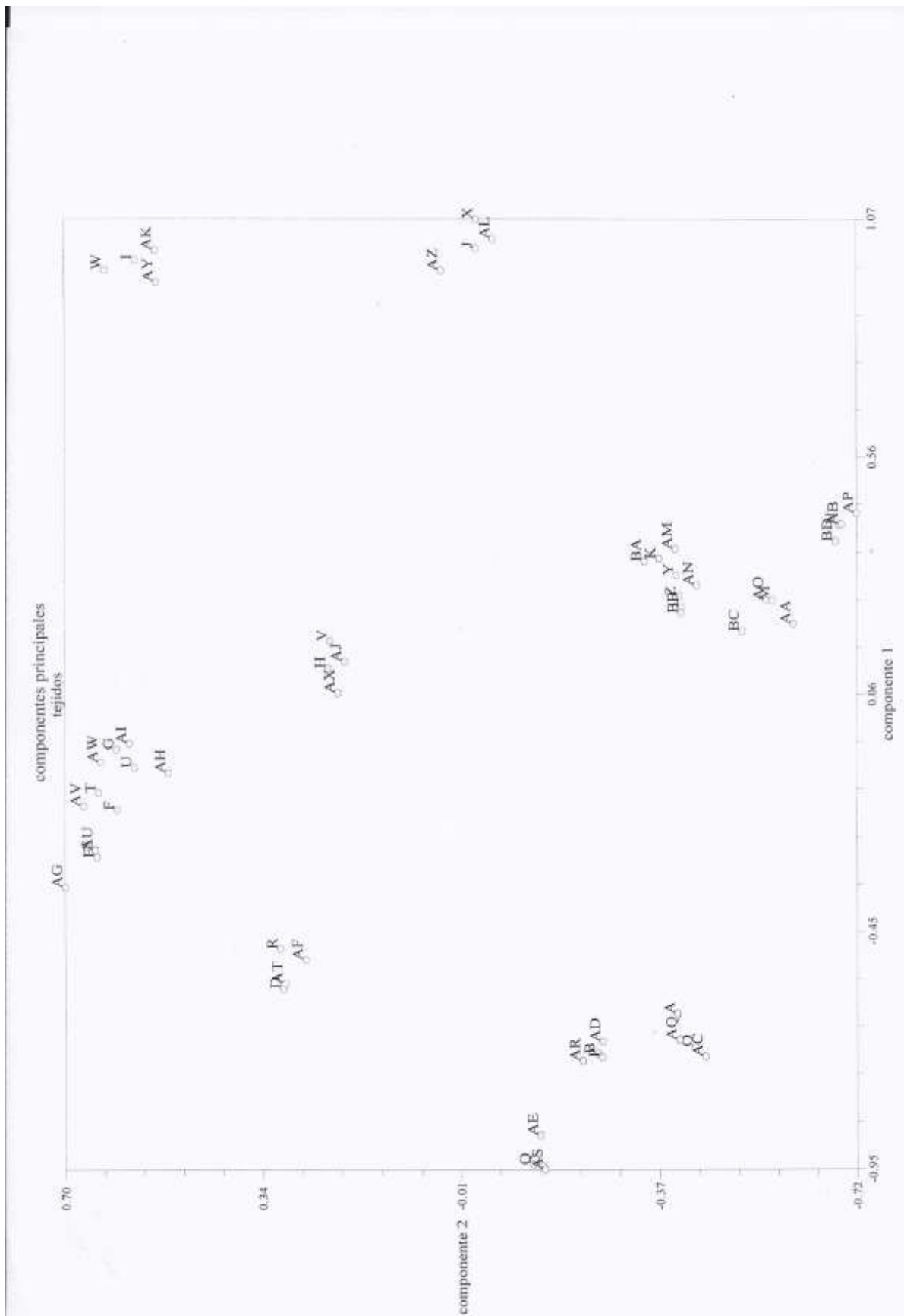
El análisis de componentes principales aplicado a la base de datos explicó el 68.05 % de la variación acumulada en los tres primeros componentes; el CP1 el 33.50%, el CP2 explicó el 21.90% y el CP3 explicó el 12.64% (Cuadro16).

**Cuadro 16.** Porcentaje de la variación acumulada en los tres primeros componentes para los 56 OTUS y 22 variables

	PC1	PC2	PC3
Eigenvalores	7.37	4.81	2.78
Porcentaje	33.5	21.9	12.64
Acumulado	33.5	55.41	68.05

Cuando se observa la posición de los OTUS (= tejidos en los 14 meses de muestreo) en el espacio, la combinación de los componentes uno y dos separa a las muestras en siete grupos: la primera agrupación corresponde a las muestras (A, B, C, I, O, Q, AC, AD, AE, AR, AS, AQ) ubicadas en el extremo izquierdo inferior del gráfico. La segunda agrupación está conformada por (K, L, M, N, Y, Z, AA, AB, AM, AN, AO, AP, BA, BC, BD, BB) localizadas en el extremo derecho inferior. La tercera agrupación está constituida por (J, X, AL, AZ) ubicadas en el cuadrante inferior derecho. La cuarta agrupación está constituida

por (E, F, G, I, U, AG, AH, AI, AU, AV, AW) ubicadas en el cuadrante superior izquierdo. La quinta agrupación constituida por (D, R, AF, AT) ubicada en el cuadrante superior izquierdo. La sexta agrupación está constituida por (I, W, AY, AK) y el séptimo grupo está constituido por (H, V, AJ, AX) ubicadas en el extremo superior derecho (Figura 20).



**Figura 20.** Posición de los OTUS (= tejidos en los 14 meses de muestreo) en el espacio

El primer componente está representado por la correlación que mantienen las variables 15 (Salinidad del sitio La Mata), 16 Salinidad del sitio Isla Potreros), 17 (Salinidad del sitio CFE), 18(Salinidad del sitio Pipiloya) y 22 (Conductividad eléctrica del sitio Pipiloya) (ver 2). El componente dos está determinado por las variables 7(Temperatura del sitio La Mata), 8 (Temperatura del sitio Isla Potreros), 9 (Temperatura del sitio CFE) y 10 (Temperatura del sitio Pipiloya) 14 (pH en el sitio Pipiloya). El componente tres está determinado por las variables, 1 (Pb), 4 (Ba), 11(pH en el sitio La Mata), 12 (pH en el sitio Isla Potreros y 13 (pH en el sitio CFE) (ver cuadro 17)

**Cuadro 17.** Coeficiente de cada variable en los primeros tres componentes principales de la matriz básica de datos de tejidos con 56 OTUS y 22 variables

	PC1	PC2	PC3		PC1	PC2	PC3
1	0.2095	0.0137	0.6007	12	-0.3171	0.3953	0.613
2	-0.2012	0.5239	0.786	13	-0.3607	0.2573	0.7237
3	0.2768	0.0739	-0.2308	14	-0.1829	0.7929	0.3223
4	0.2095	0.0137	0.6007	15	-0.8734	0.0002	-0.0761
5	-0.107	-0.0779	-0.2812	16	-0.8747	0.0785	-0.3327
6	0.2511	0.1685	0.1343	17	-0.9554	-0.1567	0.015
7	-0.1225	0.9044	-0.3332	18	-0.966	-0.153	-0.091
8	-0.0734	0.9276	-0.2724	19	-0.8649	-0.1083	0.2745
9	0.0694	0.9433	-0.1977	20	-0.8739	-0.1387	-0.0767
10	-0.0511	0.9342	-0.1982	21	-0.9403	-0.1883	-0.0071
11	-0.3009	0.2643	0.645	22	0.9693	-0.1473	-0.1228

El grupo uno de los tejidos (branquias, músculo, hígado y piel) en los meses de enero, febrero y marzo de 2009 en el análisis de componentes principales se comportaron diferente del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de nortes en la Laguna de Tampachoco.

El grupo dos de los tejidos (branquias, músculo, hígado y piel) en los meses de noviembre, diciembre del 2009 y enero, febrero del 2010 en el análisis de componentes principales se comportaron diferentes del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de nortes en la Laguna de Tampachoco.

Grupo tres de los tejidos (branquias, músculo, hígado y piel) en los meses de octubre del 2009, en el análisis de componentes principales se comportaron diferentes del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de nortes en la Laguna de Tampachoco.

Grupo cuatro de los tejidos (branquias, músculo, hígado y piel) en los meses de mayo, junio y julio del 2009 en el análisis de componentes principales se comportaron diferente del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de lluvias en la Laguna de Tampachoco

El grupo cinco de los tejidos (branquias, músculo, hígado y piel) en el mes de abril en el análisis de componentes principales se comportaron diferentes del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de secas en la Laguna de Tampachoco

El grupo seis de los tejidos (branquias, músculo, hígado y piel) en los meses de agosto y septiembre de 2009 en el análisis de componentes principales se comportaron diferentes del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de lluvias en la zona de estudio.

El grupo siete de los tejidos (branquias, músculo, hígado y piel) en el mes de agosto en el análisis de componentes principales se comportaron diferentes del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de lluvias en la Laguna de Tampachoco

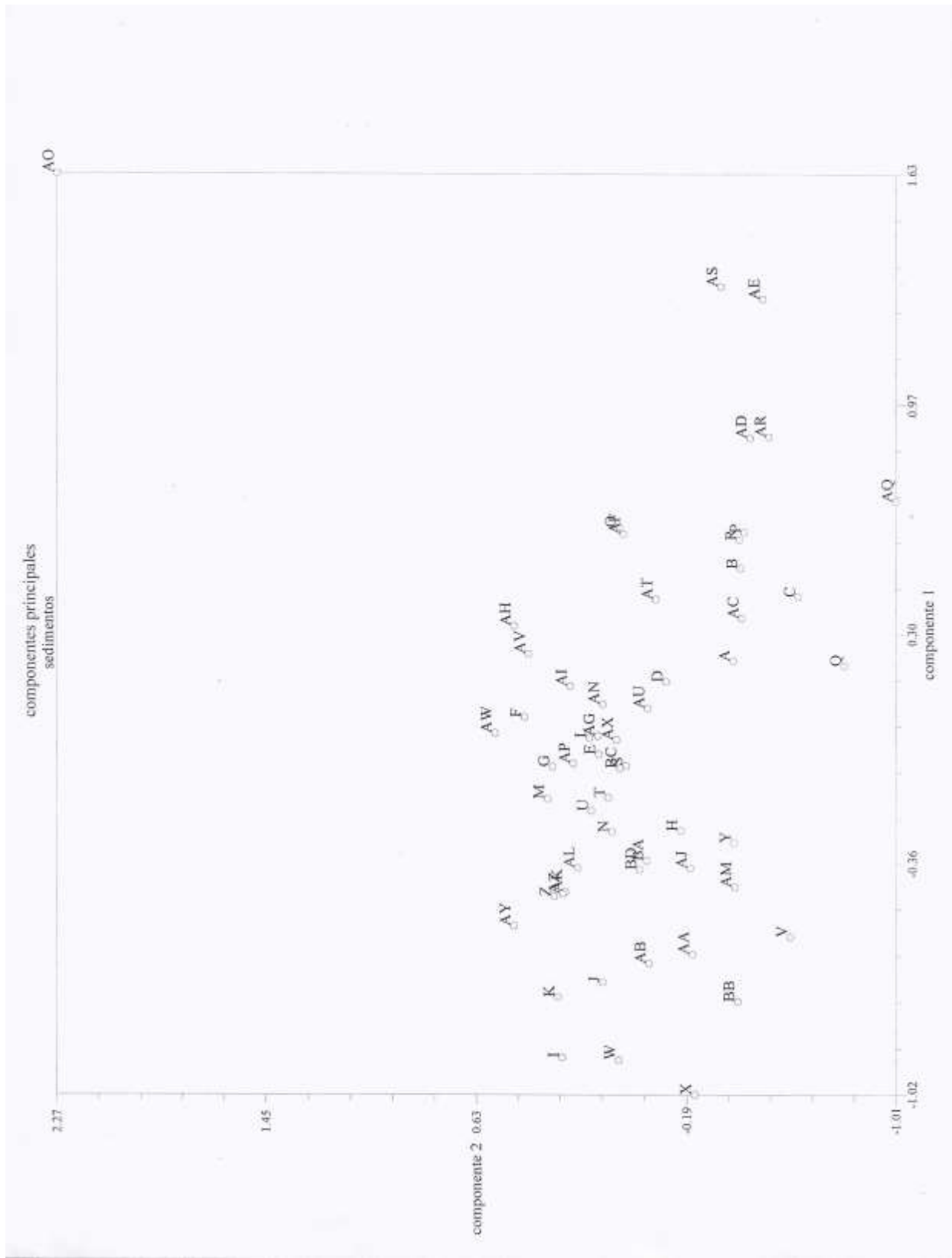
#### **VIII.4.2.2 Análisis de Componentes Principales para la base de datos de sedimentos en los cuatro sitios de colecta para 14 meses de muestreo, con 10 variables**

El análisis de componentes principales aplicado a la base de datos explicó el 69.63 % de la variación acumulada en los tres primeros componentes; el CP1 el 32.41%, el CP2 explicó el 21.89% y el CP3 explicó el 15.33% (Cuadro 18).

**Cuadro 18.** Porcentaje de la variación acumulada en los tres primeros componentes para los 56 OTUS y 10 variables

	PC1	PC2	PC3
Eigenvalores	2.91	1.97	1.37
Porcentaje	32.41	21.8	15.33
Acumulado	32.41	54.3	69.6

Cuando se observa la posición de los OTUS (= sedimentos en los 14 meses de muestreo) en el espacio, la combinación de los componentes uno y dos separa a las muestras en dos grupos: la primera agrupación corresponde a las muestras (D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AP, AU, AV, AW, AX, AY, AZ, BA, BB, BC, BD) ubicadas en el extremo izquierdo inferior del gráfico. La segunda agrupación está conformada por (A, B, C, D, P, Q, R, AC, AD, AE, AF, AR, AS, A y AQ) localizadas en el extremo derecho inferior. El OTUS (AO) se ubica en el cuadrante superior derecho (Figura 21).



**Figura 21.** Posición de los OTUS (= sedimentos en los 14 meses de muestreo) en el espacio



El primer componente está representado por la correlación que mantienen las variables 1 (Concentración de Pb en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado.), 2 (Concentración de Cd en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado), 5(Concentración de Cu en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado), 8 (Variación de pH en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya) y 9 (Variación de salinidad en los sitios de La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya). El componente dos está determinado por las variables 1, 3 (Concentración de Cr en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado), 4 (Concentración de Ba en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado), 5 (Concentración de Cu en los tejidos de músculo, piel, branquia e hígado), 8 (pH). El componente tres está determinado por la concentración de Cr, Ba, Hg en los tejidos, y por la variación de la Temperatura y Salinidad.

El grupo uno de los sedimentos (La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya) en los meses de enero, febrero y marzo de 2009 en el análisis de componentes principales se comportaron diferente del resto de las muestras. Periodo que corresponde a la temporada de nortes en la Laguna de Tampachoco (Cuadro 19)

**Cuadro 19.** Coeficiente de cada variable en los primeros tres componentes principales de la matriz básica de datos de sedimentos con 56 OTUS y 9 variables

	PC1	PC2	PC3
1	0.6823	0.5608	0.1352
2	0.5456	0.2438	0.149
3	0.0758	0.6119	-0.4466
4	0.5686	0.6435	0.4406
5	-0.6041	0.5473	-0.0143
6	-0.0058	0.0381	-0.7719
7	0.3298	0.358	-0.5606
8	0.839	-0.4485	-0.1266
9	0.8045	-0.4212	-0.1394

El grupo dos de los sedimentos (La Mata, Isla Potreros, CFE y Pipiloya) en todos los meses del año, en el análisis de componentes principales se comportaron diferente del

resto de las muestras del grupo uno. Periodo que corresponde a las temporadas de secas lluvias y nortes en la Laguna de Tampamachoco

Este mismo análisis, determinó que la Localidad de CFE en el mes de enero del 2010, se comportó diferente del resto de las localidades, determinado por las variables de Concentración de Cr, Ba Cu y variación del pH, quedando aislada en el cuadrante superior derecho de la figura 2.

## IX. DISCUSIONES

El problema de la contaminación de los sedimentos es sin duda uno de los aspectos más preocupantes de la degradación de los medios naturales por parte de la civilización contemporánea, siendo considerado como un problema universal (Jeon, *et al.*, 2004) y donde pocos son los trabajos que arrojan datos de parámetros fisicoquímicos de los fondos marinos (sedimentos).

La laguna de Tampamachoco a lo largo de los años ha sido objeto de estudio por diversos aspectos relacionados con su biodiversidad, estructura de las comunidades, contaminación por hidrocarburos, contaminación bacteriana y algunos aspectos de metales pesados en sedimentos y organismos. Como es el caso en el estudio de tejidos de *M. curema*, para así tratar de identificar la posible problemática que existe en la actividad pesquera de la laguna.

Valdés *et al.* (2009) en el estudio que realizaron sobre caracterización fisicoquímica de las emisiones provenientes del fondo marino (sedimento) del Golfo Dulce de la Provincia de Puntarenas en Costa Rica, reportaron los siguientes valores de temperaturas; en la superficie del agua de 32°C, mientras que en el fondo marino, de 30°C. El trabajo lo realizaron a 1.40 metros de profundidad reportando valores de pH en la superficie de 8.02 y en el fondo marino de 7.28. La conductividad eléctrica superficial fue de 36.5 mS/cm, mientras que en el fondo marino fue de 41.6 mS/cm. La semejanza existente que menciono con el trabajo aquí realizado, es que el valor registrado en la temperatura del sedimento fue de 25.3°C, a una profundidad aproximada de 2 metros, con un pH de (7.23) y una conductividad eléctrica de 39.86 mS/cm. Independientemente de que son lugares y países diferentes, los resultados de las mediciones tienen cierta similitud en el comportamiento de estos mismos factores fisicoquímicos.

García (2006) reportó los siguientes valores del pH alcalino de los sedimentos de tres Lagunas Costeras de Tamaulipas durante las tres épocas del año (secas, lluvias y nortes): Laguna de Pueblo Viejo; secas (8.91), lluvias (8.91) y nortes (8.54); Laguna de San

Andrés- secas (9.03), lluvias ( 8.71) y nortes (8.83); Laguna de Marismas de Altamira secas (8.93), lluvias (8.97) y nortes (8.93). En el trabajo actual los valores son de casi neutros a ligeramente alcalinos (secas 7.5; lluvias 7.61; nortes 7.2). Como resultado, los metales pesados en estos cuerpos de agua son poco móviles y tenderían a acumularse en la parte superficial de los sedimentos. Los metales son más disponibles en los pH más ácidos y se disuelven en el agua y pueden ser absorbidos por los organismos (García y Dorrroso, 2005). Pudiendo deducir que en la época de nortes por tener el pH más bajo estarían más disponibles los metales pesados y disponibles para los organismos de la laguna. Lo cual representaría un peligro hacia la vida acuática provocando en algunos casos efectos teratogénicos o mutagénicos.

Pérez- Vélez y Botello (1991) evidencian que existe un contraste entre la porción Este y Oeste de la Laguna de Términos en Campeche, en cuanto a la relación profundidad y salinidad, ya que la parte más profunda (Este) presenta mayor salinidad (34.3 UPS) con respecto a la parte Oeste donde la laguna es más somera y la salinidad es menor (24.3 UPS) esto se presenta en este caso debido a que en el lado Este , uno de los factores a influir es el aporte marino de la Boca de Puerto Real y por el Oeste la entrada de agua dulce del río Palizada, coincidiendo con el comportamiento de la salinidad. En este trabajo, con los valores encontrados en los cuatro puntos de muestreo dentro de la laguna, también existe coincidencia, ya que la salinidad promedio se presentó con valores más bajos en el punto 1, La Mata (21.37 UPS), que se encuentra más cercano al aporte del río Tuxpan que es el lugar más somero, en cambio el punto 4, ( Pipiloya), es la parte más profunda y más en contacto con el aporte marino de la Barra de Galindo, la salinidad reportada en ese punto fue de (24.97 UPS ).

Tapia (2007) reportó en un estudio realizado en el golfo de Tehuantepec con relación a la dinámica del medio ambiente y mediante la integración de datos fisicoquímicos en dos temporadas climáticas, secas y lluvias, y la de los vientos que se encuentran dentro de la estación de secas, las muestras se tomaron a 10 metros de profundidad, donde se registró salinidades de 33 UPS a 34.7 UPS de junio a noviembre y hubo una variación de noviembre a mayo de 11,9 UPS a 29,8 UPS.

Los datos registrados en este trabajo dieron como resultados valores en las épocas de secas de 38.26 UPS, con un valor máximo de 51.90 durante marzo y en la época de lluvias con 20.20 UPS registrándose un valor mínimo de 4.60 en septiembre, habiendo cierta similitud en el comportamiento de la salinidad en las dos épocas estudiadas y coincidiendo también en lo señalado por Carrillo *et al.*, (2009) donde mencionan que la distribución espacial de la salinidad presenta un claro patrón estacional, demostrando que la salinidad es más baja durante la época de lluvias y la más alta durante la estación de secas.

En cuanto a los resultados obtenidos de los metales pesados estudiados en los sedimentos y tejidos de *M. curema* de la laguna de Tampamachoco podemos mencionar lo siguiente.

### **Plomo**

En contraste con las concentraciones indicadas en las normas internacionales de Cr, Cu y Pb, tenemos que en los resultados de plomo comparado con los valores recolectados en este estudio, de 4.26 mg/kg para La Mata, de 3.36 para Isla potreros, 4.63 para Pipiloya y CFE con 6.12 mg/kg, el mayor valor registrado, similar con los 6.21 mg/kg indicados para el mismo elemento en la laguna de Tamiahua, y muy inferior a estos valores al de Mandinga de 0.89 reportados los dos por Botello (2005), presentan discordancia, y más aún si los tratamos de alinear con el valor de referencia (1.2 mg/kg) determinado como valor en sedimentos mencionado por (Long *et al* 1995), donde al rebasar este valor se provocan efectos biológicos a los organismos acuáticos. Por lo anterior, es que los valores encontrados en los diferentes sitios de muestreo de este estudio, presentan riesgo para la laguna y los organismos que viven en ella.

Como ya se mencionó, la concentración promedio de Pb más alta registrada en este trabajo fue de 6.12 mg/kg, en el punto CFE, el determinado por (Rosas *et al.*, 1983) con 1.86 mg/Kg, también fue llevado a cabo en la propia laguna de Tampamachoco y la variación que se tiene en este trabajo comparado contra el de ellos, es más del triple de la concentración registrada en ese año, esto puede deberse primeramente a que la Central

Termoeléctrica aún no estaba asentada en ese lugar y segundo, el crecimiento tanto poblacional como industrial en los alrededores de la misma, cuyo efecto se ve reflejado en los valores actuales arrojados.

Comparando este trabajo con el realizado por Zilli y Gagneten (2005) registrando un valor de 10 mg/kg y los reportados en las tres lagunas estudiadas por Botello (2005) donde fue superior a 27 mg/kg, todos están muy por arriba de los límites permisibles que marca la norma mexicana (NOM 242-SSA-1-2009) de 0.5 mg/kg.

Tao *et al.* (1999) realizaron un estudio profundo sobre la ingestión de Pb a través de branquias en el pez *Carassius auratus*, concluyendo que el Pb es disponible en forma de ión libre y cuando está adherido a pequeñas partículas. En este trabajo se observó que las branquias de *M. curema*, es el medio de absorción de este organismo con respecto a este metal. Se puede decir que aunque las branquias son el medio de contaminación ya que se presentan los valores de plomo más alto en ellas, no representan peligro alguno para el ser humano ya que son tejidos no consumidos por el.

Existen pocos estudios sobre acumulación de Pb en órganos de peces, la literatura consultada suele medir la contaminación del Pb en músculo, por lo que la comparación de los datos obtenidos en otros tejidos es reducida.

## **Cromo**

El comportamiento de los metales pesados en los sedimentos de los diferentes sitios de muestreo de la laguna de Tampamachoco, Ver., durante los 14 meses estudiados (enero 2009-febrero 2010), se reportaron como valores mínimo, máximo y promedio anual.

Se compararon los datos de este trabajo con los valores registrados de sedimentos de otros estudios. Monroy *et al.*, (2002) mencionan que la explotación y beneficio de los recursos minerales históricamente no controlados (desde el punto de vista ambiental), ha provocado que se presente una extensa contaminación de suelos y sedimentos por metales

pesados. El  $\text{Cr}^{+6}$  es carcinogénico y el grado de toxicidad en sedimentos y peces se incrementa, dependiendo del pH del medio.

Zilli y Gagneten (2005) analizaron los efectos de la contaminación por metales pesados en la calidad de los sedimentos y su efecto sobre la comunidad bentónica de la cuenca del arroyo Cululú (río salado del norte de Argentina) donde mencionan que los metales pesados actúan como factores perturbadores que inciden de manera diferente sobre la comunidad bentónica de sitios contaminados con la de los sitios no contaminados.

Citando algunas diferencias de concentraciones altamente contrastantes entre los elementos bajo análisis, por ejemplo, mientras que para algunos lugares como son los valores registrados por Zilli y Gagneten, en 2005 donde la concentración promedio de **Cr** observada fue de 321 mg/kg, y en comparación con las concentraciones promedio de los sitios muestreados en este estudio, donde se observó un valor de 2.68 mg/kg para, la Mata, en Isla Potreros con 2.40, el valor más alto registrado se presentó en CFE con 3.88 y Pipiloja con 3.32mg/kg y comparando con los registros de otros sistemas lagunares del propio Golfo de México estudiados por Botello (2005), como son Alvarado con 13.75 mg/kg, Mandinga con 14.75 mg/kg y Tamiahua con 26.40 mg/kg y en base a los valores límites de contaminantes metálicos que producen efectos biológicos citados por (Long *et al.*, 1995) que mencionan que debe ser mayor a 81mg/Kg, se concluye que ninguno de los valores registrados por las tres lagunas estudiadas por Botello (2005), ni por los registrados en este trabajo representan riesgo en la biota ya que no fueron rebasados, pero basándonos en la NOM- 001-ECOL. 1999 donde los LMP es de 0.5 mg/kg todos fueron rebasados.

En cuanto al comportamiento del Cr durante las épocas climáticas de las tres lagunas estudiadas por Botello (2005), concluye que la época en donde mayor presencia hubo fue en nortes, si difirió con la de este estudio ya que el mayor valor se presentó durante la época de secas.

## Cadmio

Las mediciones de Cd, en algunos lugares del mundo presentan valores muy bajos en su concentración de 0.07 mg/kg (Zilli y Gagneten., 2005), en este estudio, no fue detectado en los sedimentos de ninguno de los cuatro puntos de muestreo.

En cuanto a la determinación de Cd en tejidos. Bustos *et al*, 2004, realizaron un estudio en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo; esta laguna representa actualmente el cuerpo de agua más importante del Valle de México. Tiene una vinculación indirecta con la vegetación acuática y el aprovechamiento de la pesca de carpas, *Cyprinus carpio* donde determinaron la bioacumulación de metales pesados en sus diferentes partes del cuerpo, donde se pudo observar comportamientos diferentes, los resultados que comparamos con el trabajo de Bustos 2004; fueron los de músculo de la carpa, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados, Pb mostró una concentración de <0.006 mg/kg, de Cd, una concentración de 0.002 mg/kg, y de Zn presentó un valor de 11.600 mg/kg.

En este trabajo no se investigó el Zn, de los metales estudiados se tuvo un registró para el Cd de 0.513 mg/kg valor promedio en musculo y al compararlo con los de Bustos 2004, pudimos observar que está por debajo del obtenido en este trabajo y comparando con la norma mexicana la NOM-029-SSA1-1993, donde se menciona que el límite permisible para el Cd en pescados frescos, debe ser de 0.5 mg/kg, lo que quiere decir que los valores encontrados en este estudio, están dentro de los LMP al igual que en los trabajos de Izaguirre-Fierro *et al.*(1992 ) en el Valle de Culiacán en estudios en *M. curema*, donde sus valores registrados fueron de 0.4 ug/g coincidiendo también con los reportados por Ruelas-Inzunza *et al* (2010) con valores <0.5 ug/g. De acuerdo a estos valores, las concentraciones detectadas no rebasan los criterios oficiales establecidos. Por lo tanto, podemos aseverar que la presencia de Cd en los valores encontrados, no representan riesgo alguno para la salud de la Laguna de Tampamachoco ni de los organismos que la habitan, ya que lo que se ingiere del pescado usualmente es el músculo.



## **Bario**

En cuanto al Ba se presentaron valores muy altos de concentración, tanto en sedimentos como en los organismos de la Laguna, la normatividad mexicana hasta el momento no ha establecido los límites máximos permisibles para este elemento ni en sedimentos ni para los organismos acuáticos, la referencia internacional que se tiene para este metal, EPA 2000, establece como límite 2 ppm en la superficie del agua, el cual resultó ampliamente excedido por los valores encontrados en el sedimento de los sitios de muestreo de este estudio, cuyo rango de valores promedió fue de 30.03 hasta 36.24 mg/kg.

De igual manera, si comparamos los valores encontrados en los tejidos de *M. curema* que se analizaron en este estudio, con el límite de Ba que indica la EPA 2000 para agua en superficie, éstos sobrepasan dicho límite en exceso, pues su rango de valores promedio va desde 7.577 hasta los 43.261mg/kg.

Desafortunadamente no existen estudios en materia de este elemento por otros autores con los que los resultados de este trabajo pudieran haber sido comparados.

## **Cobre**

Botello (2005) reporta valores para Cu en sedimentos de las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua de 17.49 mg/kg, 15.77 mg/kg y 10.52 mg/kg respectivamente, y los registrados por Zilli y Gagneten en 2005 en la propia laguna de Tampamachoco, con valor de 9 mg/kg, son considerablemente mayores a los reportados en este trabajo con valores promedios de 4.38 mg/kg para La Mata, 4.01 para Isla Potreros, el valor más alto registrado en CFE con 7.34 y Pipiloya con 5.16 mg/kg, y aunque existe cierta cercanía con los valores encontrados en la laguna de Tamiahua, todos, sin excepción alguna, rebasan los límites permisibles emitidos por la norma mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996, modificada en 2003 donde se establece como LMP de Cu en 4.0 mg/kg).

Estos valores pueden deberse a que en su mayoría son lugares de pesca comercial y las embarcaciones al estar en contacto con el agua salina provocan un desprendimiento del cobre acumulado en la pintura y recubrimientos de las mismas.

Su mayor concentración se registró en la época de secas (en Alvarado y Tamiahua) donde hubo similitud con la registrada en este estudio y difiriendo con la registrada en Mandinga que se presentó en la época de nortes. Este comportamiento puede deberse al efecto de las altas temperaturas registradas durante esta época y que conlleva al incremento de los contaminantes por evaporación.

### **Mercurio**

Los valores obtenidos tanto en los diferentes sitios de muestreo de este estudio, como en los diferentes tejidos del organismo analizados, son de lo más contrastante y no muestran correlación explicable alguna, pues como ya mencionamos anteriormente, mientras que durante los meses de enero y febrero no se detectó Hg en ninguna de los sitios de muestreo, tampoco se encontró restos de este metal en los diferentes tejidos de *M. curema*, siendo esto el único resultado congruente, pues para el resto de los meses que abarcó el estudio, en las diferentes localidades muestreadas los valores de este metal sobrepasaron la sensibilidad del equipo (1.6 mg/kg), incluso para los mismos meses de enero y febrero pero del siguiente año, lo cual refleja que la ausencia de este metal en esa temporada no se debe de considerar como estacional.

Por otra parte, las mediciones de los valores en algunos tejidos, como es el caso de las branquias, en ningún mes de estudio se detectó la presencia del metal aún y cuando durante esos mismos meses, en todas las locaciones, el valor encontrado fue tan ALTO, que rebasó la sensibilidad de detección del equipo.

## **Correlaciones en sedimentos**

Las mayores concentraciones de metales se presentaron relacionadas de la siguiente manera; en Cu, con la temperatura en la localización de La Mata, en Pb y Ba con la salinidad. Así mismo, las concentraciones de Cr, Cu y Pb, se relacionaron con la salinidad en Isla Potreros.

En el sitio CFE predominó la alta concentración de Cu, Pb y Cr, y se relacionaron por el efecto de la salinidad, Pipiloya en cambio, presentó mayor concentración en Pb debido al efecto de la temperatura, la cual fue muy significativa (50.65).

En menor concentración pero también por efecto de la temperatura, se manifestaron de igual manera el Cr, Ba y Cu.

## **Correlaciones en tejidos**

Las correlaciones de las concentraciones de los metales en tejidos, nos arrojan que para el músculo la concentración de Pb, Ba y Cr, están relacionadas con la salinidad ( $r^2 = 28.35, 28.35$  y  $23.34$ ), por otro lado, para la piel la correlación se vio relacionada también con la salinidad y la conductividad eléctrica en el Cr (44.58). Por otro lado, el Ba y el Cu ( $r^2 = 9.77, 28.01$ ), respectivamente, también con la conductividad eléctrica.

Las branquias tuvieron una alta correlación con el cobre, 27.23, el Ba con 10.19 y el Cr 13.66, relacionados con la salinidad nuevamente y con la conductividad eléctrica

En el hígado las mayores correlaciones se presentaron con la conductividad eléctrica, Cu (44.83), el Ba (18.70) y el Pb (18.70).

En este estudio se observa que en *M. curema* la ingestión de Pb se da a través del musculo, sin embargo existen pocos estudios sobre acumulación de Pb en tejidos y órganos de peces, por lo que la comparación de los datos obtenidos es reducida. Sin embargo el

patrón de acumulación del Pb observado estuvo claro en el sentido que la ingesta es la entrada de Pb en *M. curema*, una concentración menor se localizó en la piel y branquias, estas presentaron una alta correlación positiva con el músculo ( $r^2 = 0.9975$ ) por lo que al aumentar la ingesta de Pb, se incrementa en el músculo también.

## X. CONCLUSIONES

La temperatura del sedimento en los distintos sitios de muestreo está relacionada con las diferentes estaciones del año, es decir los cambios en este parámetro son estacionales.

La conductividad eléctrica es directamente proporcional a los valores de concentración de la salinidad en el sedimento muestreado.

El pH de los sedimentos, tanto como en las aguas de la laguna, va de neutral hasta alcalina y fue relativamente estable durante el periodo de muestreo.

Para los parámetros de conductividad eléctrica y pH no existen aún LMP ni en la NOM-001-ECOL-1996, ni tampoco en los CE-CCA-001/89, por lo que sería necesario cambiar la legislación vigente en donde se involucren los LMP de los parámetros estudiados, para poder generar información para la toma de decisiones por las instancias adecuadas para la mejora de la laguna.

Podemos decir que la salinidad y la conductividad eléctrica son parámetros fisicoquímicos que facilitan la presencia de los metales pesados, generando que los organismos estén expuestos a estos contaminantes.

El Cd no se detectó en sedimentos, aunque si en tejidos, siendo donde mayor concentración se encontró; las branquias, lo que hace suponer que *M. curema* bioacumula este metal, pero también nos hace concluir que la laguna está libre de este metal en sus sedimentos.

De igual manera, las concentraciones de Cu tanto en tejidos como en los sedimentos, no rebasaron el límite indicado por la normatividad aplicable, por lo que se considera que este metal no tiene un riesgo tóxico potencial en este cuerpo de agua.

Las concentraciones de los metales detectados Ba, Pb, Cr, rebasaron los límites máximos permisibles por las normas mexicanas, Ba se encontró en concentraciones muy elevadas y aunque no existe normatividad para las concentraciones de este metal, se considera que por las cantidades registradas, puede representar un riesgo de toxicidad para el bentos y otros organismos así como para los consumidores de los productos que se obtienen de la Laguna de Tampamachoco.

Al igual que el Ba, el Pb se manifestó en concentraciones por demás superiores tanto en tejidos como en los sedimentos a los establecidos en la normatividad mexicana existente, sin embargo se observa que no existe un organismo regulador que tome acciones para evitar que los organismos contaminados lleguen al consumo humano.

Por otra parte se observó que el Cr solo rebasa los límites establecidos en la normatividad vigente en la piel de *M. curema*, es decir, no existe contaminación en los tejidos internos, lo que nos lleva a concluir que éste metal en específico, no alcanza a ser recolectado por el aparato respiratorio del organismo.

De acuerdo a las concentraciones que se encontraron en los tejidos de *M. curema* se concluye que las branquias son el tejido principal de recolección de los metales en estudio, ya que la respiración es un factor determinante en la bioacumulación de estos contaminantes.

Podemos concluir que todos los metales pesados que se registraron y están presentes rebasando los límites máximos permisibles en los tejidos y órganos de *M. curema* y en sedimentos de la laguna, pueden crear problemas de ecotoxicidad y repercutir en la salud humana, provocando desordenes neurológicos y efectos teratogénicos, mutagénicos y carcinogénicos.

## **XI. SUGERENCIAS**

Realizar estudios más sistemáticos de la laguna en periodos más largos e incrementar los puntos de muestreo para que se obtenga mayor información.

Es necesario ampliar el rango de especies a estudiar para tener un mayor conocimiento de la toxicidad existente en los organismos que ahí habitan, para determinar si existe un problema ecotoxicológico.

Desarrollar e Implementar la normatividad que indique las concentraciones normales o permisibles de metales pesados en sedimento, ya que en México no existen a la fecha.

Por otro lado, la implementación de alternativas acuiculturales y la ayuda técnica para lograrlas.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

Albert, A. L. 2002. Curso Básico de Toxico Ambiental. (2). Edit. Limusa. México: 89-99p

Antón, A. y J. Lizaso. 2002. Los metales pesados en la alimentación. Fundación Ibérica para la seguridad alimentaria. Madrid, España: 5p

Abraham, G. M. S. y R. J. Parker. 2007. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environ Monit Assess.* 2008. (136): 227–238 p.

Aguilar-Dávila, W y E. Sosa-Cordero. 1997. Variación espacial de la mortalidad de bagres en la Bahía de Chetumal. *En: Estudio emergente sobre la mortandad de bagres en la Bahía de Chetumal.* Ortiz-Hernández, M. C. (ed.). El Colegio de la Frontera Sur Unidad Chetumal. Chetumal, QROO: 12-21 p.

Albert, L.A., F. Badillo. 1991. “Environmental Lead in Mexico”, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* (117): 1-49 p.

Álvarez del Villar, J. 1970. Peces mexicanos, México, (Claves), Inst. Nal. Invest. Biol.Pesq., Com. Nal. Consuts. Pec., 166 p.

Anandra, J. A., D. J. Marshall., M.A Gregory and T.P. McClurg. 2002. Metal accumulation, filtration and O<sub>2</sub> uptake rates in the mussel *perna perna* (Mollusca:Bivalvia) exposed to Hg<sub>2</sub> +, Cu<sub>2</sub> + and Zn<sub>2</sub> +. *Comparative Biochemistry and physiology part C Toxicology and pharmacology.* (3): 355-363 p.

ATSDR. 2007. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. *Reseña Toxicológica del Bario y Compuestos de Bario.* Atlanta, GA: Departamento



de Salud y Servicios Humanos de E.U., Servicio de Salud Pública.

Barlas, N., N. Akbulut., M. Aydogan. 2005. Assessment of heavy Metal Residues. En the Sediment and Water Samples of Uluabat Lake, Turkey. Bull Environmental Contamination and Toxicology. (74): 286-293p.

Bascom, W. 1982. The effects of waste disposal on the coastal waters of Southern California. Environ. Sci. Technol. (4): 226-236p.

Botello, A. V. 1995. Contaminación por hidrocarburos y metales pesados: 27-29 p.  
En: A. Botello (Responsable) Evaluación Geoquímica Ambiental y Diagnósis de la Zona Costera de Veracruz: Lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Tampamachoco. Informe final de Proyecto de Investigación CONACYT (3232-T9308): 345p.

Botello, A. V. y Páez-Osuna F. 1986. La contaminación. El problema crucial. Centro de Ecodesarrollo. México. (I): 62-85p.

Botello, A. V. y Calva. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Pueblo Viejo, Tamiahua, and Tampamachoco Lagoons in the southern Gulf of Mexico. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. (60): 96-103 p.

Botello, A., J. Rendón Von Osten., G. Gold-Bouchet y C. Agraz Hdez. 2005. Golfo de México: Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias Escrito por A. et al., Alfonso Vázquez Botello Edition: 2 Publicado por Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 2005 ISBN 9685722374, 9789685722377: 695 p.

Calva-Monroy. 1985. Parasitismo por Acantocéfalos y su relación con algunas características biológicas de *Mugil curema* en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. Tesis Profesional. UNIVERSIDAD VERACRUZANA Facultad de Ciencias Biológicas. Área de Ecología Marina.

Campana. O., C. Sarasquete and J. Blasco 2003. Lead effects on activity metallothionein and lipid peroxidation in blood, kidney and liver of the toadfish *Halobatrachus didactylus*. Schneider 1801. *Ecotoxicology Environment Safety*. (55): 116-125p.

Castañeda, L y F. Contreras. 2001. Serie: Bibliografía comentada Más sobre Ecosistemas Costeros Mexicanos de 2001. Centro de Documentación Ecosistemas Litorales Mexicanos. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, División CBS, Depto. de Hidrología. Publicación electrónica. México, DF.

Carazo, A., S. Carbajal., S. Collado., B. Espandin., A. Hernando., B. Martínez., M. Martínez y Neid. 2006. metales pesados y medio Ambiente.

Carrillo, L., E. Palacios-Hernández., M. Yescas., A.M. Ramírez-Manguilar. 2009. Spatial and Seasonal Patterns of Salinity in a Large and Shallow Tropical Estuary of the Western Caribbean. *Estuaries and Coasts* (32): 906-916p.

Carwardine, M., E. Hoyt., R. W. Fordyce y P. Gill. 2006. Contaminación y efectos sobre los cetáceos. *Apnea: delfines y ballenas*. (6): 12-18 p.

Caso, M., Pisanty y Ye. Ezcurra. 2004. Diagnostico Ambiental del Golfo de México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A.C y Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. 1108 p.

- CDC 1991. Preventing lead poisoning in your children. A statement by the centre of Disease Control. U.S. Department of health and human Services, Atlanta, GA.
- CEPA 2002. *Canadian Enviromental Protec Act*. Canadian Water quality Guidelines. Ottawa, Ontario. Canadá
- Chen, G., P. A. White. 2004. The mutagenic hazard of aquatic sediments; a review Mutagenic Research. (567): 151-225 p.
- Codina, J. y G. A. Pérez. 2003. Los metales pesados con polucionantes tóxicos. Universidad de Málaga. En línea. España. Citado el 15 marzo 2009 disponible en Internet <http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS45/metales.html>.
- Contreras, E. F., O. L. Castañeda y R. Torres. 2004. La biodiversidad de las lagunas costeras. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciencias; octubre-diciembre. (76): 46-56p.
- Contreras, F. 1983. Biótica, variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpan, Tampamachoco, Veracruz” México. 201-213 p.
- Contreras, E.F. 1985. Las Lagunas Costeras Mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. 2ª Ed. México. 263 p.
- Darnell, R. M. 1992. Ecological history catastrophism and human impact on the Mississippi/Alabama continental shelf and associated waters: a review. *Gulf Res. Rep.* 8(4): 375-386 p.

- Dellvals, T. A., J. M. Forja and A. Gómez-Parra. 2002. Seasonality of contamination toxicity and quality values in sediments from litoral ecosystems in the Gulf of Cadiz, SW Spain. *Chemosphere* (46): 1033-1043 p.
- El Nemr, Ahmed., Azza. Khaled y Amany. El Sikaily. 2005. "Distribution of heavy metals in surface sediment of Suez Gulf, Red Sea" The 12 International conference for Arabian Biologist. Hodida, Yemen: 19-24 p.
- Espinosa, S. y C. Vanegas. 2005. Ecofisiología y contaminación. 53-78 p. Botello, A., J. Rendón., V. Osten., G. Gold., Bouchat., C. Agraz y Hernández. Golfo de México, contaminación e impacto ambiental; Diagnostico y tendencias, 2<sup>da</sup> edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Fant, M. L., M. Nyman., E. Hell., E. Rudbäck. 2001. Mercury, Cadmium, lead and selenium in ringed seals (*phoca hispida*) from the baltic sea from svalbard. *Environ. Pollut.* (111): 493-501 p.
- Fisher, W., F. Krupp., W. Scheides., C. Sommer., K. E. Carpenter y U. H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca Pacifico Centro Oriental. Parte 2. (III): 1201-1813 p.
- Florencia, Z., A.M. Gagneten 2005. Efectos de la Contaminación por metales pesados sobre la comunidad bentónica de la cuenca del arroyo Cululú, Río salado del norte, Argentina. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. *Revista Interciencia*, marzo. (30-003): 159-165p.
- Flores, A. P. 1987. Contaminación del Pescado y sus productos por metales pesados. Estación Experimental FONAIAP-Distrito Federal. FONAIAP DIVULGA No 25. Julio-Septiembre, México.

- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª edición, México, D.F: 220 p.
- García, I y C. Dorronsoro. 2005. Contaminación por metales pesados en Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm> Consultada 4 Mayo, 2009.
- García-Rico L., S. Wilson-Cruz., M. C. Frasquillo-Félix y M. E. Jara-Marini. 2003. Total metals in intertidal surface sediments of oyster cultures areas in Sonora, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. (70): 1235-1241 p.
- González-Lozano, M., L. Méndez-Rodríguez., D. López-Veneroni y A. Vázquez-Botello. 2006. Evaluación de la Contaminación en Sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Asociación Interciencia* (31-009). Caracas Venezuela: 647-656 p.
- Gutiérrez- Mendieta, F., F. Varona-Cordero., F. Contreras-Espinosa. 2006. Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del Estado de Chiapas, México. *Revista Hidrobiológica*, agosto, (16-002): 137-146 p.
- Harte, J., C. Holden., R. Scheneider y C. Shirey. 1991. *Toxics A to Z. A guide to everyday pollution hazards*. University of California Press.
- Haynes, D and D. Kwan. 2002. Trace metals in sediments from Torres Strait on the Gulf Papua: concentrations, distributions, and water circulation patterns. *Marine pollution* (44): 1296-1313 p.

- Hellawell, J.M. 1989. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science, London: 546 p.
- Herrera-Silveira J.A., I. Medina - Gomez and R. Coki. 2002. Tropic status based on nutrimental concentration scales and primary producers community of tropical water discharges. *Hidrobiología*. (475/476): 91-98 p.
- INEGI. 2001. Tuxpan, Estado de Veracruz. Cuaderno estadístico Municipal. Gobierno del Estado de Veracruz e Instituto Nacional de Estadística e Informática, México. 180p.
- Jeon, M., H. Fujita., M. Sasaki. 2004. Heavy metals in aqueous solutions. *Applied Microbiology and Biotechnology*. (32): 399-400p.
- Cheung, K. C., H. M. Leung y M. H. Wong. 2007. Metal Concentrations of Common Freshwater and Marine Fish from the Pearl River Delta, South China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2008. (54):705-715 p.
- Kennish, M. J. 1991. *Ecology of Estuaries; Anthropogenic effects*. CRC press. Boca Ratón, Florida. 1-11 p.
- Kennish M. J. 1997. *Practical Handbook of estuarine and marine pollution*. CRC press. Boca Ratón, Florida. 524 p.
- Kong, I., C. Lee y Y. Wonk. 1998. Heavy Metal toxicity monitoring in sediments of jinhae Bay, Korea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. (61): 505-511 p.
- Kumpf, H., K. A. Steidinger y K. Sherman. 1999. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science Inc., Malden, Massachusetts: 704 p.

- Leal, M.T., S. Miranda., E. M. Otazo., F. Prieto., A. J. Gordillo. Metal pollution in el limon lagoon, Chiapas, Mexico. 2009. Tropical and Subtropical Agroecosystems, Mexico: 415-421 p.
- Lindhal, P. E y E. Schwanbonm. 1971. A method for the detection and quantitative estimation of sublethal poisoning in fish. (22): 210 p.
- Liu, W., Z. Wang., X. Wen., H. Tang. 1999. The application of preliminary sediment quality criteria to metal contamination in the Le An River. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology (105): 355-366 p.
- Mancera-Rodríguez, N. J. y R. Álvarez-León. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana. (11-01): 3-23 p.
- Mc Intyre D. J. 1973. Toxicity of methyl-mercury for steelhead trout sperm. Bulletin of Environmetal Contamination and Toxicology. (9): 96 p.
- Mendoza, R., E. Salgado., C. Silva y Lechuga 2003. Muerte masiva de fauna marina en bahía Magdalena, Baja California Sur. México. Revista de Biología. (17): 64-68 p.
- Morrisey D. J., A. J. Underwood., J. S. Stark and L. Howitt. 1994. Temporal variation in concentration of heavy metals in marine sediments. Estuarine, coastal and shelf science (38): 271-282 p.
- Murano, H., K. Matsuzaki., H. Shiraishf y M. Wakabayashi. (2007). Effects of heavy metals in river waters in Japan on immobility and mortality of *Daphnia / magna* and *Oryzias latipes* larvae, Fisheries Science (73): 1078-1086 p.
- Neff, J. M. 2002. Bioaccumulation in marine organisms. Effect of contaminants from oil well produced water. Elsevier Science, Oxford. 47 p.

NIOSH 1993. National Institute for Occupational Safety and Health. Registry of toxic effects of chemical substances. (RTCS)

NOM: NOM-027-SSA1-1993. 1994. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Secretaría de Salud. Diario Oficial, 14 de marzo de 1994.

NOM: NOM-117-SSA1-1994. 1994. Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Fierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Secretaría de Salud. Diario Oficial, 29 de junio de 1995.

Ortega-Ojeda, A., C. Barrilla-Álvarez y F. Zavala Clímaco. 1983. Estudio sobre la viabilidad implantación de la veda para *Mugil curema* en las Lagunas costeras de Coyuca y Tres Palos, Guerrero. Delegación Federal de Pesca en Guerrero. 24 p.

Ortiz-Hernández, M. C. 1997. Estudio emergente sobre la mortandad de bagres en la Bahía de Chetumal. *En*: El Colegio de la Frontera Sur Unidad Chetumal. Ortiz-Hernández, M. C. El Colegio de la Frontera Sur Unidad Chetumal, Chetumal Quintana Roo: 1-84 p.

Palanques A, 1994. Distribution and heavy metals pollution of the suspended particulate matter on the Barcelona continental shelf (Northwestern Mediterranean) environmental and Pollution (85): 205-215 p.

Peña C. E., D. E. Carter., F. Ayala-Fierro. (2001) Evaluación de riesgos y restauración ambiental. <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>.



- Pérez-Hernández, M y B. Torres- Orozco. 2000. Evaluación de la riqueza de especies de peces en la lagunas costeras mexicanas; estudio de un caso en el Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*. (148, junio 2/3): 425-438 p.
- Pérez-López M., E. Bellón., J. Alonso y M. J. Melgar. 2003. Contenido en metales pesados (Zn, Cd, Pb y Cu) en conservas de mejillón (*Mytilus* sp.) 22-27 p.
- Perin, G., R. Fabris., S. Manente., A. Rebello-Wagener., C. Hamacher and S. Scotto. 1997. A five- years study and the heavy-metal pollution of Guanavara bay sediments, Rio de Janeiro, brazil and Evaluation of the metal bioavailability by means of geochemical speciation. *Water. Res.* (31-12): 3017-3028 p.
- Pernía B., A. De Sous., R. Reyes y M. Castrillo. 2008. Biomarcadores de Contaminación por cadmio en las plantas. *Interciencia, Venezuela*. (33-2): 0378-1844 p.
- Ponce, R., J. M. Forja y P. Gómez. 2000. Influencia de la actividad antropogénica en la distribución vertical de Zn, Cd, Pb, en agua intersticial y sedimentos marinos costeros, bahía de Cádiz, SW de España. *Ciencias Marinas, Ensenada Baja California, México*. 479-502 p.
- Portilla- Ochoa E. 2005. Lagunas Costeras de Veracruz. Primer encuentro de experiencias de manejo colectivo de los recursos costeros. Parque Nacional Lagunas de Chacahua. Puerto Escondido, Oaxaca, 2005.
- Rainbow, P.S. 1985. The biology of heavy metals in the sea. *Intern. J. Environmental Studies*, Gordon and Breach Science Publishers, Inc and OPA Ltd. U.K. (25): 195-211 p.
- Ramírez, A. 2002. Toxicología del Cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la facultad de medicina* (63-01). Universidad Nacional de San Marcos, Lima, Perú: 51-64 p.

- Reguero M y A. García-Cubas. 1991. Moluscos de la Laguna Tampamachoco, Veracruz, México: sistemática y ecología. Laboratorio de Malacología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, D.F. Contribución No. 710 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología: 12 p.
- Repetto, M. 1995. Toxicología avanzada. Madrid, España. (8).
- Rodríguez-Fuentes, H., E. Sánchez-Alejo., M. Rodríguez-Sánchez., J. A. Vidales-Contreras K. Acuña-Askar., G. Martínez-Turrazas., y J. C. Rodríguez-Ortiz. 2005. Metales pesados en leche cruda de bovino. Revista Salud Pública y Nutrición. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. (6-04).
- Schindler D.W. 1987. Detecting ecosystem responses to anthropogenic stress. *Fish Aquat. Sci.* (44): 6-25 p.
- Shrivastava, P., A. Saxena y A. Swarup. 2003. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M.P.) India, Lakes and Reservoirs: Research and Monagement (8): 1-4 p.
- SEMARNAP. 1998. Anuario estadístico de pesca 1997. Vázquez Botello, A., y F. Páez. (1986). El problema crucial: la contaminación. *En: Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos*. Centro de Ecodesarrollo. Altadena 8, México D.F. (1): 62 p.
- Stumm y Morgan, 1984. *En: Botello, A., J. Rendón Von Osten., G. Gold-Bouchet y C. Agraz Hdez.* 2005 Golfo de México: Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias Escrito por Alfonso Vázquez Botello et al., Edition: 2 Publicado por Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2005. ISBN 9685722374, 9789685722377. 695 páginas.
- Taylor, D., 1981. A summary of the data on the toxicity of various materials to aquatic life. Part. 10, Lead. Brixham Lab. Rep BL/A/2126. ICIPLC.

- Toledo, O. A. 2005. Marco Conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México p. 25-52. *En*: A.V. Botello, Rendón – von Osten, G. Gold- Bouchot y C. Agraz – Hernández. Golfo de México Contaminación e Impacto ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2<sup>da</sup> Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.
- Valdés, J., Esquivel, G., Segura, J., Martínez ,M., 2009.Caracterización fisicoquímica preliminar de las emisiones gaseosas provenientes del fondo marino en el área de Golfito después de los sismos del 11 de Marzo de 2009. OSVICORI-UNA , Costa Rica.
- Vanegas, C., S. Espina., A. V. Botello., S. Villanueva. 1997. Acuity toxicity and synergism of cadmium and zinc in White shrimp, *penaeus setiferus*, juveniles: Bulletin of Environmental contamination and toxicology. (58): 87-92 p.
- Vargas, D., E. E. Arriaga., H.Q. Castellán., J. G. Rodríguez., I. M. Estudillo. 2005. Caracterización de algunos parámetros fisicoquímicos del agua y sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México. Acta universitaria, (15 número 2, mayo-agosto): 57-65 p.
- Vázquez- Botello, A y L. G. Calva Benítez. 1998. Evaluación geoquímico ambiental y diagnóstico de la zona costera de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco. Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. 3 p.
- Vázquez F.G., V.K. Sharma., Q.A. Mendoza., R. Hernández. (2001). Metals in fish and shrimp of the Campeche Sound, Gulf of Mexico. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. Springer-Verlag New York Inc. (46): 774-781.

- Vasquez, F.G., Sharma V.K., Pérez-Cruz, (2002). Concentrations of elements and metals in sediments of the southeastern Gulf of Mexico, *Environmental Geology*. Springer-Verlag, New York Inc. (42): 41-46 p.
- Vidal-Martínez, V. M., R. Simá-Álvarez, G. Gold-Bouchot y O. Zapata-Pérez. 1996. Informe parcial del estudio sobre la mortalidad del bagre (*Arius felis*) de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida: 10 p.
- Villar C. A., C. E. Gómez y C. A. Bentos. 2000. Lethal concentration of Cu in the neotropical fish *cnesterodon decemmaculatus* (pisces, Cyprinodontiformes) *Bulletin of Environmental contamination and toxicology*. (65): 465-469 p.
- Wang, W. X. 2002. Interactions of trace metals and different marine food chains. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* (243): 295-309 p.
- WHO 1979. Washington Organización Health. Criterios de Salud Ambiental. Plomo. Panamericana de la Salud. 169 p
- Wright J. 2003. Environmental chemistry: heavy metals and pollution of the lithosphere. Ed. Taylor & Francis e-Library, USA and Canada. 409 p.
- Yáñez-Arancibia, L. A. 1978. Taxonomía y Ecología y estructura de las comunidades de peces en las lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico Mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Laboratorio de Ictiología y Ecología Estuarina. Contribución 85 del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, (5-1): 287-306 p.

Young, D. R., C. S. Young., and J. H. Hlavka. 1973. Sources of trace metals from highly urbanized southern California to adjacent marine ecosystems. In: cyclin and control of metal. U.S.E.P.A. National Environmental Research center, Cincinnati, Ohio USA. 21-39 p.

Zhang, J., W. Huang., S. Lin., M. Liu., Q. Yu., H. Wang. 1992. Transport of particulate heavy metal towers the china sea: A preliminary study and comparison. Mar chem. (40): 61-178 p.