



# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS  
Campus TUXPAN

Universidad Veracruzana

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Concentración de metales pesados en  
*Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896)  
sedimentos y agua de la Laguna de  
Tampamachoco**

TESIS

Que para obtener el Título de:

**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS  
MARINOS Y COSTEROS**

**P R E S E N T A:**

**Biol. Marco Antonio Sánchez Olivares**

**DIRECTOR:**

**Dra. María Alejandra López Jiménez**

**CO-DIRECTOR:**

**Dra. Marisela López Ortega**



Universidad Veracruzana

**Tuxpan, Veracruz**

**2014.**

La presente Tesis titulada: “**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN *Callinectes sapidus* (RATHBUN, 1896) SEDIMENTOS Y AGUA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO**”, realizada por el C. Biol. Marco Antonio Sánchez Olivares, bajo la dirección de la Dra. María Alejandra López Jiménez y la codirección de la Dra. Marisela López Ortega, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS**

**CONSEJO PARTICULAR:**



---

Dra. María Alejandra López Jiménez

**Director**



---

Dra. Marisela López Ortega

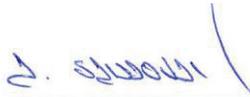
**Co-Director**

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver., Noviembre de 2014.

La presente Tesis titulada: “**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN *Callinectes sapidus* (RATHBUN, 1896) SEDIMENTOS Y AGUA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO**”, realizada por el C. Biol. Marco Antonio Sánchez Olivares, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS**

**COMISION LECTORA:**



Dra. Ana María Sandoval Villasana

**Lector**



Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera

**Lector**



Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza

**Lector**

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver., Noviembre de 2014.

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre, porque gracias a ti he llegado hasta aquí, por tu apoyo, consejos y por la motivación constante, gracias por todo mamá.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo y las facilidades otorgadas para la realización de este posgrado.

A mis directoras de tesis Dra. María Alejandra López Jiménez y Dra. Marisela López Ortega, por brindarme su apoyo incondicional y por la oportunidad tan grande de trabajar con ustedes y dirigirme en el proyecto de investigación, fue un placer haber trabajado con ustedes.

A los miembros de la comisión lectora, Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera, Dra. Ana María Sandoval Villasana y al Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza por su colaboración como revisores y haber enriquecido con sus observaciones este trabajo.

Al Mtro. Jordan Gutiérrez Vivanco por su apoyo en el Laboratorio de Química para la realización de este trabajo.

A mis amigos de posgrado Tania, Patricia y Areli por todos los buenos momentos, muestreos y por hacer más ameno el tiempo en la maestría.

A mis amigos de Biología Marina: Lucero, Juan Carlos y Yudit, gracias por formar parte de mi vida, y por estar en los mejores y porque no también en los peores momentos, con ustedes compartí bastantes buenos momentos en esta universidad.

## ÍNDICE GENERAL

Resumen	Páginas
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	5
2.1 Características de <i>C. sapidus</i> Rathbun, 1896.....	5
2.2 Clasificación taxonómica.....	6
2.3 Efecto de parámetros fisicoquímicos en la disponibilidad de metales pesados.....	7
2.4 Metales pesados y efectos en los organismos.....	8
2.5 Presencia de metales pesados ecosistemas acuáticos.....	9
III. Objetivos.....	14
3.1 General.....	14
3.2 Particulares.....	14
IV. Área de estudio.....	15
V. Material y métodos.....	16
5.1 Trabajo de campo.....	16
5.2 Trabajo de laboratorio.....	17
5.2.1 Secado y digestión de muestras de jaiba.....	17
5.2.2 Secado y digestión de muestras de sedimento.....	18
5.2.3 Preparación y digestión de muestras de agua.....	19
5.3 Trabajo de gabinete.....	19
5.3.1 Análisis estadístico.....	19
VI. Resultados .....	21

<b>6.1</b>	<b>Parámetros fisicoquímicos.....</b>	<b>21</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Temperatura.....</b>	<b>21</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Conductividad Eléctrica.....</b>	<b>22</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Salinidad.....</b>	<b>23</b>
<b>6.1.4</b>	<b>pH.....</b>	<b>24</b>
<b>6.1.5</b>	<b>Oxígeno Disuelto.....</b>	<b>25</b>
<b>6.1.6</b>	<b>Análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos.....</b>	<b>26</b>
<b>6.2</b>	<b>Metales Pesados en tejidos de jaiba.....</b>	<b>27</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Plomo (Pb).....</b>	<b>27</b>
<b>6.2.1.1</b>	<b>Pb en tejido blando de jaiba.....</b>	<b>27</b>
<b>6.2.1.2</b>	<b>Pb en branquias de jaiba.....</b>	<b>29</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Cadmio (Cd).....</b>	<b>31</b>
<b>6.2.2.1</b>	<b>Cd en tejido blando de jaiba.....</b>	<b>31</b>
<b>6.2.2.2</b>	<b>Cd en branquias de jaiba.....</b>	<b>33</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Cromo (Cr).....</b>	<b>35</b>
<b>6.2.3.1</b>	<b>Cr en tejido blando de jaiba.....</b>	<b>35</b>
<b>6.2.3.2</b>	<b>Cr en branquias de jaiba.....</b>	<b>37</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Cobre (Cu).....</b>	<b>39</b>
<b>6.2.4.1</b>	<b>Cu en tejido blando de jaiba.....</b>	<b>39</b>
<b>6.2.4.2</b>	<b>Cu en branquias de jaiba.....</b>	<b>41</b>
<b>6.2.5</b>	<b>Análisis estadístico de metales pesados en tejidos .....</b>	<b>43</b>
<b>6.3</b>	<b>Metales pesados en sedimentos.....</b>	<b>50</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Plomo (Pb).....</b>	<b>50</b>

6.3.2 Cadmio (Cd).....	53
6.3.3 Cromo (Cr).....	55
6.3.4 Cobre (Cu).....	57
6.3.5 Análisis estadístico de metales pesados en sedimentos.....	59
6.4 Metales Pesados en agua.....	63
6.4.1 Plomo (Pb).....	63
6.4.2 Cadmio (Cd).....	65
6.4.3 Cromo (Cr).....	66
6.4.4 Cobre (Cu).....	69
6.4.5 Análisis estadístico de metales pesados en agua.....	71
VII. Discusión.....	75
VIII. Conclusiones.....	84
IX. Aplicaciones.....	87
X. Bibliografía.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Callinectes sapidus</i> Rathbun, 1896.....	6
<b>Figura 2.</b> Área de estudio.....	15
<b>Figura 3.</b> Valores de temperatura.....	21
<b>Figura 4.</b> Valores de conductividad eléctrica.....	22
<b>Figura 5.</b> Valores de Salinidad.....	23
<b>Figura 6.</b> Valores de pH.....	24
<b>Figura 7.</b> Valores de Oxígeno disuelto.....	25
<b>Figura 8.</b> Concentración de Plomo en tejido blando de jaiba.....	28
<b>Figura 9.</b> Concentración de Plomo en branquias de jaiba.....	30
<b>Figura 10.</b> Concentración de Cadmio en tejido blando de jaiba.....	32
<b>Figura 11.</b> Concentración de Cadmio en branquias de jaiba.....	34
<b>Figura 12.</b> Concentración de Cromo en tejido blando de jaiba.....	36
<b>Figura 13.</b> Concentración de Cromo en branquias de jaiba.....	38
<b>Figura 14.</b> Concentración de Cobre en tejido blando de jaiba.....	40
<b>Figura 15.</b> Concentración de Cobre en branquias de jaiba.....	42
<b>Figura 16.</b> Agrupaciones entre variables.....	48
<b>Figura 17.</b> Concentración de Plomo en sedimentos.....	52
<b>Figura 18.</b> Concentración de Cadmio en sedimentos.....	54
<b>Figura 19.</b> Concentración de Cromo en sedimentos.....	56
<b>Figura 20.</b> Concentración de Cobre en sedimentos.....	58
<b>Figura 21.</b> Agrupaciones entre variables.....	62
<b>Figura 22.</b> Concentración de Plomo en agua.....	64

<b>Figura 23.</b> Concentración de Cadmio en agua.....	66
<b>Figura 24.</b> Concentración de Cromo en agua.....	68
<b>Figura 25.</b> Concentración de Cobre en agua.....	70
<b>Figura 26.</b> Agrupaciones entre variables.....	73

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Concentración promedio de Pb en tejido blando.....	27
<b>Cuadro 2.</b> Concentración promedio de Pb en branquias.....	29
<b>Cuadro 3.</b> Concentración promedio de Cd en tejido blando.....	31
<b>Cuadro 4.</b> Concentración promedio de Cd en branquias.....	33
<b>Cuadro 5.</b> Concentración promedio de Cr en tejido blando.....	35
<b>Cuadro 6.</b> Concentración promedio de Cr en branquias.....	37
<b>Cuadro 7.</b> Concentración promedio de Cu en tejido blando.....	39
<b>Cuadro 8.</b> Concentración promedio de Cu en branquias.....	41
<b>Cuadro 9.</b> Análisis de correlación Spearman para metales en tejido blando.....	45
<b>Cuadro 10.</b> Análisis de correlación Spearman para metales en branquias.....	46
<b>Cuadro 11.</b> Porcentaje de variación acumulada.....	47
<b>Cuadro 12.</b> Coeficientes entre variables de componentes en sedimentos.....	49
<b>Cuadro 13.</b> Concentración promedio de Pb en sedimentos.....	51
<b>Cuadro 14.</b> Concentración promedio de Cd en sedimentos.....	53
<b>Cuadro 15.</b> Concentración promedio de Cr en sedimentos.....	55
<b>Cuadro 16.</b> Concentración promedio de Cu en sedimentos.....	57
<b>Cuadro 17.</b> Análisis de correlación Spearman en sedimentos.....	60
<b>Cuadro 18.</b> Porcentaje de variación acumulada.....	61
<b>Cuadro 19.</b> Coeficiente entre variables de componentes en sedimentos.....	62
<b>Cuadro 20.</b> Concentración promedio de Pb en agua.....	63
<b>Cuadro 21.</b> Concentración promedio de Cd en agua.....	65

<b>Cuadro 22.</b> Concentración promedio de Cr en agua.....	67
<b>Cuadro 23.</b> Concentración promedio de Cu en agua.....	69
<b>Cuadro 24.</b> Análisis de correlación Spearman de metales en agua.....	72
<b>Cuadro 25.</b> Porcentaje de variación acumulada.....	73
<b>Cuadro 26.</b> Coeficientes entre variables para componentes en agua.....	74

# Concentración de metales pesados en *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) sedimentos y agua de la Laguna de Tampamachoco

Marco Antonio Sánchez Olivares

## RESUMEN

En los últimos años, la presencia de metales pesados en las zonas costeras con grandes asentamientos humanos y con un importante desarrollo industrial ha recibido especial interés. La importancia de estudiar las concentraciones de metales pesados en el ambiente costero y estuarino se deben a que éstos son muy movilizados por el hombre y potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos. Para conocer los efectos de los metales y otros contaminantes, en años recientes se han sugerido a los crustáceos como organismos bioindicadores de contaminación ambiental. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración de metales pesados en *Callinectes sapidus*, sedimentos y agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Se realizaron muestreos mensuales de Noviembre de 2012 a Octubre de 2013. Se realizó la toma de parámetros fisicoquímicos, colecta de organismos, sedimentos y agua. Una vez procesadas las muestras, se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica para la determinación de Pb, Cd, Cr y Cu, en tejido blando, branquias, sedimentos y agua. Las concentraciones máximas en *C. sapidus* para cada elemento fueron las siguientes; Pb: 36.25 y 37.30 mg/kg, Cd: 8.97 y 9.3 mg/kg, Cr: 13.02 y 1.22 mg/kg y Cu: 84.27 y 155.87 mg/kg para tejido blando y branquias respectivamente. En sedimentos las concentraciones máximas fueron: Pb: 60.52 mg/kg, Cd: 8.1 mg/kg, Cr: 13.9 mg/kg y Cu: 9.47 mg/kg. En agua las concentraciones máximas fueron: Pb: 0.25 mg/L, Cd: 0.17 mg/L, Cr: 0.05 mg/L y Cu: 0.48 mg/L. Las concentraciones mínimas reportadas para tejido blando y branquias de *C. sapidus* fueron: Pb: 0.30 mg/kg, Cd: 0.05 mg/kg, Cr: 0.20 y 0.17 mg/kg y Cu: 23.80 y 78.92 mg/kg. En sedimentos las concentraciones mínimas fueron: Pb: 0.30 mg/kg, Cd: 0.15 mg/kg, Cr: 2.5 mg/kg y Cu: 0.42 mg/kg. En agua las concentraciones mínimas fueron: Pb: 0.04 mg/L, Cd: 0.002 mg/L, Cr: 0.011 mg/L y Cu: 0.017 mg/L. De acuerdo a la normatividad aplicable, las concentraciones reportadas superan los límites máximos permitidos en tejidos de *Callinectes sapidus*, por lo que la ingesta de este recurso es riesgosa debido a que los metales, aun a bajas concentraciones causan efectos adversos a la salud.

**Palabras Clave:** Contaminación, espectrofotometría de absorción atómica, jaiba azul.



## I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros son fundamentales, ya que actúan como áreas para el desarrollo larval, alimentación, refugio y el reclutamiento de un sin número de especies, además de la importancia económica, biológica, ecológica y alta productividad que generan (Contreras *et al.*, 2002). 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).

Factores como el desarrollo tecnológico, el crecimiento demográfico y la industrialización contribuyen al ingreso de un gran número de sustancias tóxicas al ambiente. Dichos contaminantes tóxicos, son aquellas formas de materia que exceden las concentraciones naturales, ocasionando efectos adversos tanto en sedimentos, agua y organismos marinos (Albert, 1999).

Los metales pesados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, lo que hace inevitable su presencia en todo ser vivo. En las zonas marino-costeras, muy sensibles a la contaminación, la transferencia de metales a la biota depende de la hidrodinámica y condiciones tanto biológicas como geoquímicas, las cuales pueden influenciar el ciclo, flujo y tiempo de residencia de los metales en los sistemas marinos (Ambrosetti *et al.*, 2003).



En estos ambientes, los sedimentos, restos de materia orgánica e inorgánica que se depositan sobre los continentes, actúan como sumideros de contaminantes y cuando las condiciones ambientales cambian, naturalmente pueden actuar como fuente importante de metales trazas que pueden existir en forma biodisponible y representan un riesgo real de contaminación (Izquierdo *et al.*, 1997; Anzari *et al.*, 2004).

Dichos contaminantes entran al sedimento desde los cuerpos de agua produciéndose un aumento progresivo de sus concentraciones en el tiempo y posterior bioacumulación de organismos que forman parte de esos ecosistemas (Sadiq, 1992).

El análisis de metales pesados en sedimentos, aguas costeras, así como de algunos organismos considerados indicadores de contaminación se realiza como una manera indispensable de evaluación de la calidad de ambientes costeros. Generalmente los metales alcanzan con facilidad las zonas costeras, perturbando el medio, entrando a las cadenas alimentarias, ocurriendo procesos de bioconcentración, bioacumulación y poniendo en riesgo hasta la salud del propio ser humano (Ponce- Vélez y Botello, 1991).

En las zonas costeras, es evidente la contaminación como consecuencia de las actividades humanas asociadas a las descargas industriales y municipales, desechos agrícolas y por algunos procesos naturales (Mandelli, 1979).



La contaminación por metales en las lagunas costeras afecta diversas pesquerías, por lo que el estudio de los recursos debe abordarse de forma integral; tomando en consideración que la pesca en México es preferentemente costera dedicada a la pesca ribereña (Guzmán-Amaya *et al.*, 2005).

La Laguna de Tampamachoco tiene una gran importancia ecológica y económica desde el punto de vista pesquero. Sin embargo, las continuas liberaciones provenientes de descargas municipales e industriales favorecen la introducción de contaminantes al medio acuático, por lo que es de gran importancia saber las concentraciones de metales pesados, ya que estos son causantes de diversas fallas en la salud y funcionamiento de los ecosistemas (Caso *et al.*, 2004).

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. Este fenómeno es tal vez uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático (Mandelli, 1979).

La evaluación del contenido de metales pesados en los organismos acuáticos se realiza especialmente entre los de hábitos bentónicos y filtradores, empleándose éstos frecuentemente como indicadores de contaminación (Goldberg, 1984).

Para conocer los efectos de los metales y otros contaminantes, en años recientes se han sugerido a los crustáceos como organismos bioindicadores de



contaminación ambiental debido a que es una especie que forma parte de comunidades pelágicas y epibentónicas (Knezovich, 1994).

Los cangrejos de la familia Portunidae están ampliamente distribuidos en ambientes tropicales estuarinos, preferiblemente en aguas de poca profundidad (Taissoun, 1973). Estas especies representan un recurso pesquero comercial importante en aguas del Atlántico y Pacífico, alcanzando elevados valores en los mercados de consumo (Williams, 1974).

Desde el punto de vista ecológico, los componentes de este grupo taxonómico cumplen una valiosa función, ya que transfieren la energía desde los niveles tróficos más bajos a los más altos, en las tramas alimentarias de los sistemas estuarinos que constituyen su hábitat primordial (González *et al.*, 1984).

Una de las consecuencias más graves de que los metales no sean biodegradables es su acumulación en las cadenas tróficas (Neff, 2002), por lo que los organismos tróficamente superiores, entre ellos el hombre, se encuentran expuestos a elevadas concentraciones de estos elementos (Wang, 2002).

Por lo anterior, el propósito de la presente investigación fue evaluar la concentración de metales pesados presentes en jaiba azul (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896), sedimentos y agua de la Laguna de Tampamachoco.



## II. ANTECEDENTES

### **2.1. Características de *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896.**

*C. sapidus*, es un crustáceo decápodo que presenta cinco pares de patas, con el cuerpo cubierto de un exoesqueleto de color verde oscuro. En los machos, las patas (pleópodos) tienen un color gris-azulado, y esta característica les ha dado el nombre y en las hembras las puntas de las patas son de tonalidad rojizo-anaranjada, lo cual permite diferenciar el sexo (Millikin *et al.*, 1984)

Es un organismo bentónico (vive y realiza sus funciones vitales en el fondo del cuerpo de agua), pero además desarrolla hábitos nectónicos (organismos que nadan libremente). Su primer par de patas son dos quelas que le sirve para alimentarse y defenderse de sus depredadores, mientras que sus patas traseras se han modificado en forma de palas llamadas patas natatorias, (con las que desarrolla sus hábitos nectónicos), que les permiten moverse para coger sus presas o escapar de los depredadores rápidamente y en casos de mucho peligro enterrarse en el fango (Millikin *et al.*, 1984).

El género *Callinectes* está confinado a las aguas costeras someras y exhibe una radiación hacia el norte y el sur, desde el centro del Atlántico Neotropical, así como en el Pacífico Tropical Oriental y a lo largo del oeste de África Tropical (Williams 1974). En total, 11 especies se encuentran en el Atlántico y tres especies en el Pacífico. La salinidad es el factor que ejerce mayor influencia en la distribución de *Callinectes* spp. del Caribe, dentro y entre las islas. Sus patrones

de distribución espacial parecen estar más relacionados con las características particulares del hábitat, como el sedimento, extensión del estuario y la cercanía a los manglares, que les proveen refugio. *C. sapidus*, se distribuye desde Nueva Escocia, Canadá hasta Río de la Plata, Argentina e incluye el Mar Caribe y el Golfo de México. *C. sapidus* y *C. bocourti* son mucho más tolerantes a bajas salinidades que *C. danae* y *C. ornatus*.

## **2.2 Clasificación taxonómica de *Callinectes sapidus***

**Reino:** Animalia

**Phylum:** Arthropoda

**Clase:** Malacostraca

**Orden:** Decapoda

**Familia:** Portunidae

**Género:** *Callinectes*

**Especie:** *C. sapidus* (Rathbun, 1896).



**Nombre común:** Jaiba azul

Figura 1. *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896.



## **2.3 Efecto de parámetros fisicoquímicos en la disponibilidad de metales pesados**

Las causas principales de perturbación ambiental en estos ambientes incluyen la temperatura elevada, pH elevado o reducido, condiciones de hipoxia y anoxia, sustancias tóxicas (insecticidas, Cadmio, Níquel, Vanadio, metales pesados, ácido sulfhídrico), hidrocarburos y materia orgánica (Raz-Guzmán, 2000).

Los cambios en los parámetros fisicoquímicos normales en un ambiente acuático afectan la estructura y función de las comunidades florísticas y faunísticas del bentos, resultando en una composición comunitaria diferente de la normal. De aquí surgen las especies indicadoras, indicadores biológicos o bioindicadores. La denominación de una especie como indicadora requiere conocimiento previo respecto a la composición comunitaria bajo condiciones normales, incluyendo el ciclo de vida de las especies, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental (De la Lanza *et al.*, 2000)

El efecto combinado de factores fisicoquímicos ambientales tiene gran influencia sobre el grado de toxicidad y sobre la incorporación de los metales pesados por la biota acuática.

El pH afecta la especiación química y la movilidad de muchos metales pesados (Wood, 1989). Este factor juega asimismo un papel importante en las



interacciones de los metales pesados con parámetros como la dureza del agua y con los compuestos orgánicos (Prosi, 1981).

La temperatura influye sobre la solubilidad de los metales y al igual que el contenido de oxígeno disuelto afecta de forma decisiva tanto a la distribución como al estado fisiológico de la biota del sistema acuático del que va a depender la respuesta frente al tóxico.

#### **2.4 Metales pesados y efectos en los organismos.**

Clark (2001) define a los metales pesados como aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) y presentan una densidad superior a  $4 \text{ g/cm}^3$ , así como cierto grado de toxicidad, pudiendo causar efectos nocivos en el ambiente en que se encuentran.

Desde el punto de vista de su función en los seres vivos, los metales pesados se clasifican en esenciales y no esenciales. Los esenciales son los que se requieren para realizar actividades metabólicas vitales en los organismos, e incluyen al Fe (hemoglobina), Cu (pigmentos respiratorios), Mn y Zn (enzimas), aunque son esenciales se convierten en tóxicos a altas concentraciones. Elementos como Ag, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb y Sn no tienen ninguna función biológica conocida, con efectos tóxicos incluso a baja concentración (Förstner and Whittmann, 1983).

Todos los elementos traza se transfieren en las cadenas y tramas tróficas acuáticas (Wang, 2002) y pueden llegar a ser tóxicos cuando la acumulación en



los tejidos de los organismos alcanza un nivel crítico (Fisher y Hook, 2002). Así mismo, el proceso mediante el cual los metales entran a un organismo, ya sea por vía respiratoria, digestiva o cutánea, acumulándose en los órganos y tejidos de los organismos se le conoce como bioacumulación (Aranda – Cirerol, 2001).

Una vez incorporados, pueden permanecer en el organismo e ir adquiriendo mayores concentraciones, a este proceso se le denomina bioconcentración, o bien, pueden ser excretados total o parcialmente dependiendo del elemento, la forma química en que se encuentre y la afinidad de los tejidos por cada uno de los metales. Finalmente a través de las redes tróficas los metales son transferidos de un eslabón a otro, presentando así, un proceso de biomagnificación y puede alcanzar niveles tóxicos para el organismo bioacumulador y los distintos eslabones de la red trófica, incluso a humanos (Skoch y LaCognata, 1998).

### **2.5 Presencia de metales pesados ecosistemas acuáticos.**

En los últimos años, la presencia de metales pesados en las zonas costeras con grandes asentamientos humanos y con un importante desarrollo industrial ha recibido especial interés (Segovia-Zavala *et al.*, 2004).

La importancia de estudiar las concentraciones de metales pesados en el ambiente costero y estuarino se deben a que éstos son muy movilizados por el hombre y potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos. Los organismos expuestos a estos contaminantes, pueden acumular los metales en sus tejidos a concentraciones más altas que las que normalmente se encuentran en el



ambiente y algunos de estos son consumidos por el hombre dado su valor comercial (Páez y Frías, 2001).

Para evaluar el nivel de contaminación que se encuentra en una zona determinada, es indispensable analizar la columna de agua, sedimentos y organismos que pueden ser usados como indicadores de contaminación (Rosas *et al.*, 1983; Páez-Osuna *et al.*, 1986).

Actualmente el ser humano comenzó a interesarse por los daños que dichos metales causaban al medio, debido a su capacidad de bioacumulación y biomagnificación (UNEP/GPA, 2006), lo cual trae a su vez problemas a lo largo de la cadena trófica, siendo los organismos fotosintéticos las principales vías de acceso de dichos elementos hacia los animales y el ser humano (Cervantes y Moreno, 1999).

Numerosos estudios han demostrado que los invertebrados marinos son capaces de acumular metales en concentraciones más elevadas que las de su ambiente (Wang, 2002). Es así como se comienza a realizar diversos estudios con respecto al contenido de metales pesados en organismos acuáticos que tienen una vía directa hacia el ser humano: peces, moluscos, crustáceos, etc., (Vázquez *et al.*, 1990; Botello *et al.*, 1998; Muñoz *et al.*, 2006; UNEP/GPA, 2006).

A nivel mundial se han realizado diferentes estudios relacionados con la concentración y análisis de metales pesados correspondiente al género *Callinectes*.



Türkmen *et al.* (2006) determinaron la concentración de 10 metales en dos especies de interés comercial (*Callinectes sapidus* y *Mugil cephalus*) en la Bahía Iskenderun Turquía, en la que los 10 metales se presentaron con altas concentraciones en tejidos de *Callinectes sapidus*, mientras que en *Mugil cephalus* se presentaron los 10 metales pero en concentraciones más bajas con respecto a *C. sapidus*.

Pérez *et al.* (2007) determinaron las concentraciones de metales traza presentes en tejido blando de *Callinectes ornatus* pertenecientes a dos sistemas lagunares de Venezuela. Entre los metales determinados destacan zinc, hierro, manganeso, cobre, cromo, cadmio, plomo y níquel.

Bordon *et al.* (2011) determinaron las concentraciones de 11 metales en *C. danae*, de nueve sitios en el sistema estuarino del Santos de Sao Paulo, Brasil. Las concentraciones de metales encontrados fueron bajas, por lo que los cangrejos fueron considerados como seguros para el consumo humano.

En México se han realizado diferentes estudios relacionados con los metales pesados presentes en Lagunas costeras y organismos acuáticos.

Castañeda (1987) determinó la concentración de Pb, Cr, Cd y ácido-solubles en el agua, sedimentos y tejidos totales de las jaibas *Callinectes sapidus* y *Callinectes similis* de la zona sur de la Laguna de Tamiahua, Veracruz.



Villanueva *et al.* (1988) evaluaron las concentraciones de Ni, Cu, Mn, Fe y Zn en muestras de tejido muscular de moluscos, crustáceos y peces del Rio Coatzacoalcos y la Laguna del Ostión. Las concentraciones de esos metales fueron bajas.

Goldaracena (2007) realizó un estudio de metales pesados en organismos acuáticos en dos lagunas costeras del Sur de Tamaulipas y Norte de Veracruz; entre los organismos de estudio para bivalvos encontró una alta concentración de Cu y Ni, mientras que en peces encontró una alta concentración de Pb.

Mendoza (2010) realizó un estudio en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz para determinar la concentración de metales pesados (Cd, Cr, Pb y Cu) en *Farfantepenaeus aztecus*, en el que encontró concentraciones de Cd (1.55 mg/kg), Cr (2.32 mg/kg) y Cu (18.625 mg/kg).

López-Jiménez (2012) determinó la presencia de metales pesados (Cr, Ba, Pb, Cd, Cu y Hg) en sedimentos y *Mugil curema* de la Laguna de Tampamachoco. En el sedimento los valores encontrados de Pb, Cr, Ba y Cu, fueron superiores a los límites máximos permitidos por la NOM-ECOL-001-1996. En los tejidos de *M. curema* el Pb y Ba superan lo establecido por la NOM-242-SSA1-2009.

López-Ortega (2012) realizó un estudio de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en tejidos de *Eugerres plumieri* y agua de la Laguna de Tampamachoco y determinó las concentraciones de Pb, Cr, Ba, Cu y Hg. Solo los valores de Pb en tejidos superan los límites máximos permitidos, mientras que Cr en tejidos y agua



superan los límites máximos permitidos. Por otro lado, Ba se reportó con valores altos, mientras que Cu y Hg se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos para tejidos y agua respectivamente.



### III. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cr y Cu) en jaiba azul *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896), sedimentos, agua y su relación con las variables fisicoquímicas, además de su distribución espacio-temporal en la Laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz.

#### 3.2 OBJETIVOS PARTICULARES:

- Registrar los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, pH y oxígeno disuelto) del agua de la Laguna de Tampamachoco.
- Determinar la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Cr y Cu) en tejido total y branquias de jaiba azul *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896), así como en sedimento y agua de la Laguna de Tampamachoco.
- Analizar la distribución espacio-temporal de metales pesados (Pb, Cd, Cr y Cu) y correlacionar las variables fisicoquímicas con la presencia de metales en *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896), sedimentos y agua.
- Describir si los valores se encuentran dentro de los límites máximos permitidos por la NOM – 029 – SSA1 – 1993, por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de E.U.A) (FDA, 1983) y por la FAO (Organización para la agricultura y Alimentación) (Nauen, 1983).

## IV. ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Tampamachoco se localiza en la parte norte del Estado de Veracruz, ubicada entre las coordenadas 20° 58' 93" y 21° 02'28" de latitud norte y 97° 19'99" y 97°23'10" de longitud oeste. Es un cuerpo de agua somero con canal artificial de navegación que atraviesa en dirección norte-sur, con una profundidad máxima de cuatro metros. Su longitud y anchura máxima son de aproximadamente 11 y 1.3 km respectivamente. Está separada del mar por la Barra de Galindo. Al norte se comunica con la Laguna de Tamiahua por un canal, con el mar a través de la Boca de Galindo de origen artificial y al sur con el Río Tuxpan por medio de un estero (Castañeda y Contreras, 2001) (Figura 2).

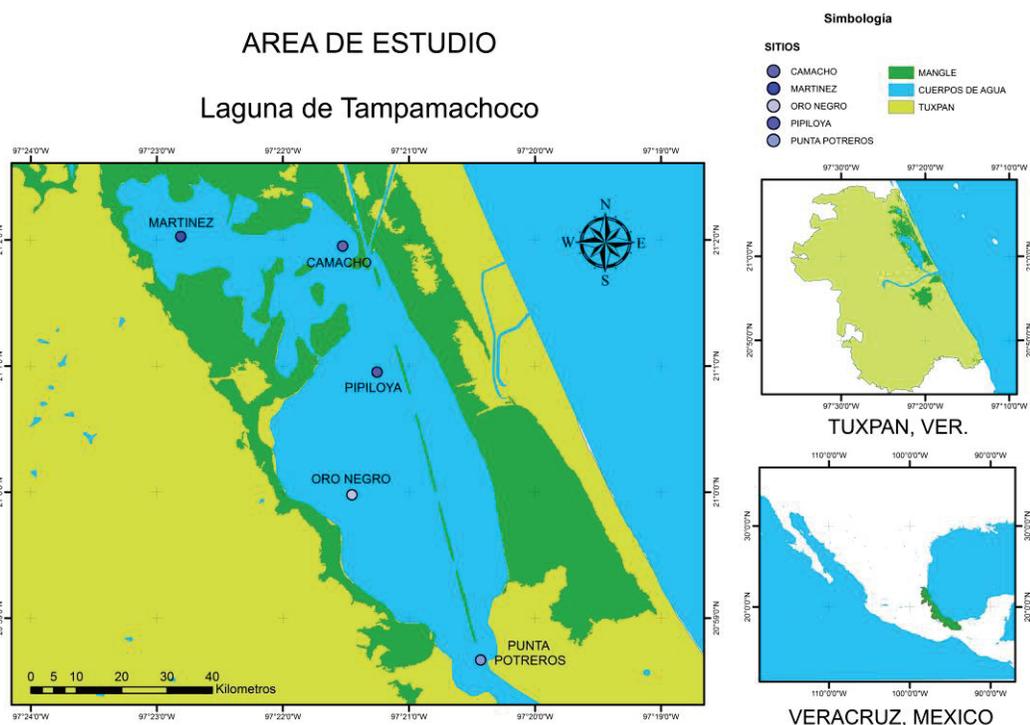


Figura 2. Localización del área de estudio.



## V. MATERIAL Y MÉTODOS

### 5.1 Trabajo de campo

En la Laguna de Tampamachoco, se realizaron muestreos mensuales durante el periodo de Noviembre 2012 a Octubre 2013, abarcando las temporadas climáticas de la región (nortes, secas y lluvias).

Se establecieron 5 sitios de muestreo a lo largo de la laguna de Tampamachoco, los cuales fueron delimitados de la siguiente manera: Sitio 1: Martínez, Sitio 2: Camacho, Sitio 3: Pipiloja, Sitio 4: Oro Negro y Sitio 5: Punta Potrerros.

En cada uno de los sitios se realizó la toma de parámetros fisicoquímicos mediante un multiparámetro marca YSI modelo 556 MPS, con el cual se obtuvieron los valores de temperatura (°C), pH, salinidad (UPS) y conductividad eléctrica (mS/cm), se realizaron tres lecturas y se obtuvo un promedio de las mismas. Así mismo fueron tomadas muestras de agua con frascos Winkler para la determinación de oxígeno disuelto (mg/L) por el método yodométrico, adicionándole 2 ml de sulfato manganoso y 2 ml de yoduro ácido de sodio para fijar la muestra.

La colecta de organismos, se llevó a cabo con nasas jaiberas en cada uno de los sitios establecidos y se colectaron aproximadamente 10 organismos por sitio. Posteriormente se transportaron al laboratorio para su procesamiento.



Para la colecta de sedimento se utilizó una draga libre de óxidos. Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno etiquetadas y fueron almacenadas para su posterior análisis en laboratorio.

La toma de muestras de agua fue de manera directa con frascos de polietileno lavados previamente con solución de ácido nítrico al 5%, además se le adicionó ácido nítrico hasta obtener un pH de 2 para su conservación y posterior análisis.

## **5.2 Trabajo de laboratorio**

Para la determinación de oxígeno disuelto, a cada una de las muestras de agua previamente fijadas *in situ*, se les adicionó 2 ml de ácido sulfúrico concentrado para la disolución del precipitado. Las muestras fueron valoradas por triplicado con una solución de tiosulfato de sodio 0.025 N.

### **5.2.1 Secado y digestión de las muestras de jaiba.**

Cada ejemplar fue lavado, diseccionado y enseguida, se separaron los tejidos (branquias y tejido blando). Estas muestras son colocadas en una estufa eléctrica a una temperatura aproximada de 70 °C hasta obtener un peso constante.

Posteriormente cada tejido fue macerado en un mortero y se pesó 1 gr de muestra seca, se depositaron en un matraz Kjendahl con 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado. Se realizaron 3 réplicas y a una de ellas se le adicionaron 100 µl del estándar multielemento High Purity Std. Se elaboró un blanco al cual se le adicionaron 10



ml de ácido y un blanco referenciado con 10 ml de ácido y 100 µl de estándar multielemento. Se utilizó un equipo Kjendalh para realizar la digestión, posteriormente de clarificar las muestras fueron filtradas con papel Whatman # 40 para evitar impurezas que pudiesen interferir en la lectura del equipo. Se aforaron en matraces de 50 ml con solución de ácido nítrico al 5% y almacenados en frascos de polietileno lavados previamente con solución de ácido nítrico para su posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

### **5.2.2 Secado y digestión de muestras de sedimentos**

Los sedimentos se extendieron y se dejaron secar sobre bolsas de nylon a temperatura ambiente. Una vez secas las muestras se molieron, etiquetaron y guardaron en bolsas ziploc. Posteriormente se pesó 1 g de sedimento en balanza analítica, se depositaron en un matraz Kjendahl y se agregaron 10 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado. Se realizaron 3 réplicas y a una de ellas se le adicionaron 100 µl del estándar multielemento High Purity Std. Se elaboró un blanco al que se le adicionó 10 ml de ácido y un blanco referenciado con 10 ml de ácido y 100 µl de estándar multielemento. Para realizar la digestión de muestras se utilizó un equipo Kjeldahl, hasta obtener una apariencia clara. Posteriormente se filtraron y aforaron en matraces de 50 ml con disolución de ácido nítrico al 5% y fueron almacenados en frascos de polietileno.



### **5.2.3 Preparación y digestión de muestras de agua.**

Se midieron 500 ml de la muestra y se adicionaron 50 ml de ácido nítrico. Se llevaron a ebullición en una placa de calentamiento hasta alcanzar un volumen aproximado de 300 ml. Se filtraron con papel Whatman # 40 y se realizaron 3 réplicas y a una de ellas se le adicionaron 100  $\mu$ l del estándar multielemento High Purity Std. Se elaboró un blanco (agua marina) y un blanco referenciado con 100  $\mu$ l de estándar multielemento. Se aforó en matraces de 50 ml con disolución de ácido nítrico al 5% y se almacenaron en frascos de polietileno lavados previamente con disolución de ácido nítrico para su posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

La determinación de la concentración de metales pesados se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC HG3000 Avanta, usando una flama de aire-acetileno.

## **5.3 Trabajo de gabinete**

### **5.3.1 Análisis estadístico**

Una vez obtenidos los resultados de las lecturas de los elementos, se realizará un análisis estadístico, tomando en cuenta la distribución de los datos para realizar pruebas paramétricas o no paramétricas.

Se realizó un análisis de Kruskal Wallis para conocer si existen diferencias significativas entre los tejidos, sedimento y agua con respecto a los sitios de



muestreo. Posteriormente se realizó otro análisis de Kruskal Wallis para determinar si existen diferencias significativas de los metales en las temporadas climáticas del año. Además se llevó a cabo una correlación entre los parámetros fisicoquímicos y los metales en tejidos, sedimentos y agua para conocer cuál de estos influye con la disponibilidad de metales pesados. Finalmente se llevó a cabo una correlación múltiple entre los parámetros fisicoquímicos con los metales, tejidos, sedimentos y agua. Para ello se realizó un análisis no paramétrico de componentes principales. Estos análisis se realizaron en los programas estadísticos SPSS 19 y Minitab 17.

## VI.RESULTADOS

### 6.1 Parámetros fisicoquímicos

#### 6.1.1 Temperatura

De acuerdo a los resultados obtenidos en las lecturas de temperatura, en el mes de enero (nortes) se presentaron las lecturas mínimas y en junio (lluvias) las máximas. En Martínez la lectura mínima fue de 18.68 °C y una lectura máxima de 31.04 °C; para Camacho la lectura mínima fue de 18.8 °C y una lectura máxima de 31.02 °C; en Pipiloya el valor mínimo fue de 18.94 °C y el valor máximo fue de 31.62 °C; en Oro Negro la mínima fue de 19.55 °C y la máxima de 31.83 °C; finalmente para Punta Potrerros la temperatura mínima fue de 20.06 °C y la temperatura máxima de 29.82 °C (Figura 3).

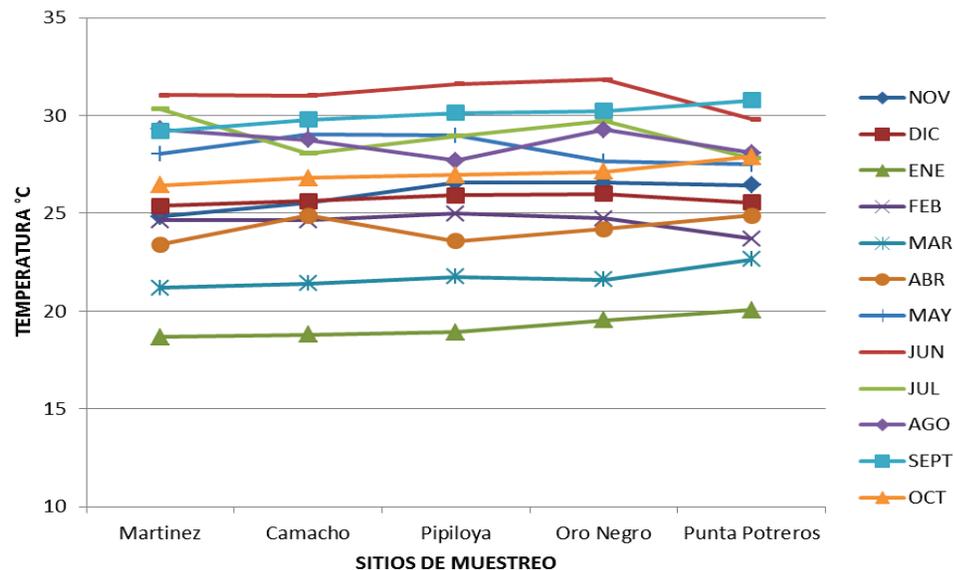


Figura 3. Comportamiento de la temperatura en los sitios de muestreo de la Laguna de Tampamachoco.

### 6.1.2 Conductividad eléctrica

Respecto a la conductividad eléctrica registrada en el agua a lo largo de los meses de estudio, el valor mínimo fue de 25.2 mS/cm en octubre (lluvias) y el valor máximo de 61.8 mS/cm en junio (lluvias). En cuanto a los sitios de muestreo los valores más bajos se registraron en octubre (lluvias): en Martínez 25.2 mS/cm, en Camacho 25.66 mS/cm, en Pipiloya 25.96 mS/cm, en Oro Negro 26.21 mS/cm y en Punta Potrerros 27.12 mS/cm. Mientras que las lecturas máximas se registraron en mayo (secas), en Martínez 58.5 mS/cm, en Camacho 58.3 mS/cm, en Pipiloya 56.07 mS/cm, en Oro Negro 53.24 mS/cm y en Punta Potrerros 45.93 mS/cm (Figura 4).

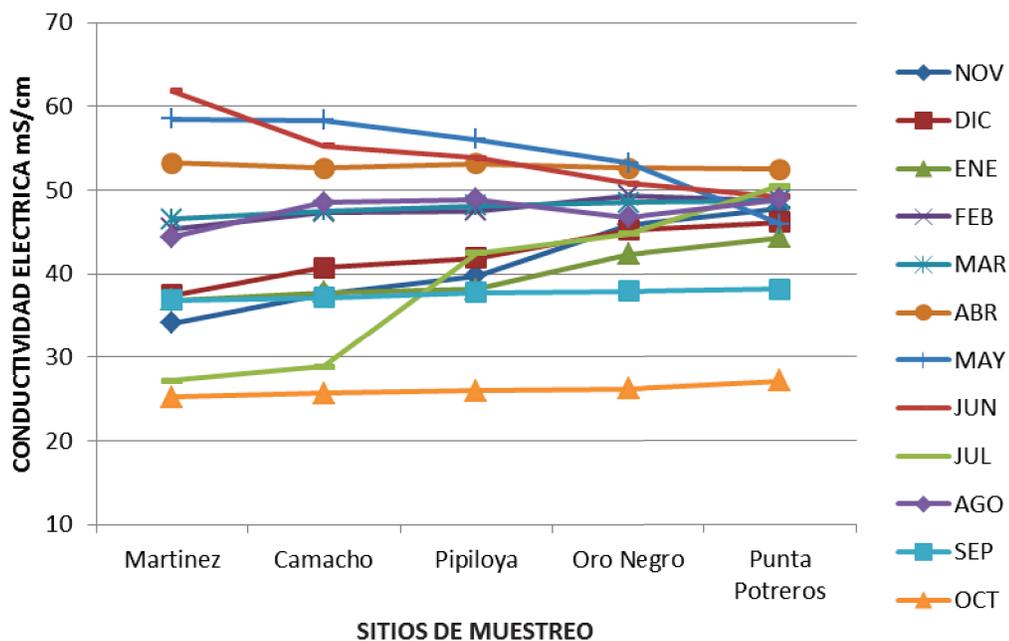


Figura 4. Valores de conductividad eléctrica en los sitios de muestreo de la Laguna de Tampamachoco.

### 6.1.3 Salinidad

En cuanto a los valores de salinidad registrada en el agua a lo largo de los meses de muestreo, el valor mínimo se presentó en el mes de noviembre con 14.67 UPS, y el valor máximo se presentó en el mes de junio con 36.5 UPS. En cada uno de los sitios establecidos durante el mes de octubre (lluvias) fueron registrados los valores más bajos, en Martínez 14.67 UPS, en Camacho 14.89 UPS, en Pipiloya 15.3 UPS, en Oro Negro 15.9 UPS y en Punta Potrerros 16.5 UPS. Por otro lado, en el mes de abril (secas) fueron registradas las siguientes lecturas, en Martínez 35.13 UPS, en Camacho 34.7 UPS, en Pipiloya 35.11 UPS, en Oro Negro 34.67 UPS y en Punta Potrerros 34.62 UPS (Figura 5).

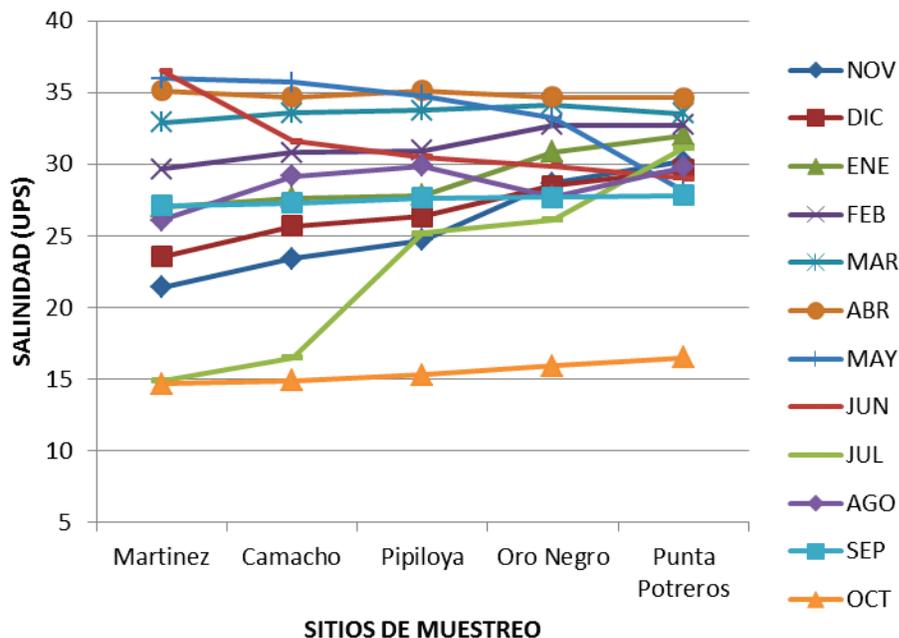


Figura 5. Valores de salinidad de los sitios de muestreo en la Laguna de Tampamachoco.

### 6.1.4 pH

Con relación al pH se presentó como valor mínimo 7.09 en septiembre y un valor máximo de 9.42 en marzo. Los valores de pH más bajos fueron registrados en septiembre (lluvias), en Martínez 7.09, Camacho 7.23, Pipiloya 7.3, Oro Negro 7.34 y en Punta Potreros 7.46. En cuanto a las lecturas máximas fueron registradas en marzo (secas), Martínez 9.21, Camacho 9.42, Pipiloya 8.7, Oro Negro 8.7, Oro Negro 8.33 y finalmente Punta Potreros con 8.68 (Figura 6).

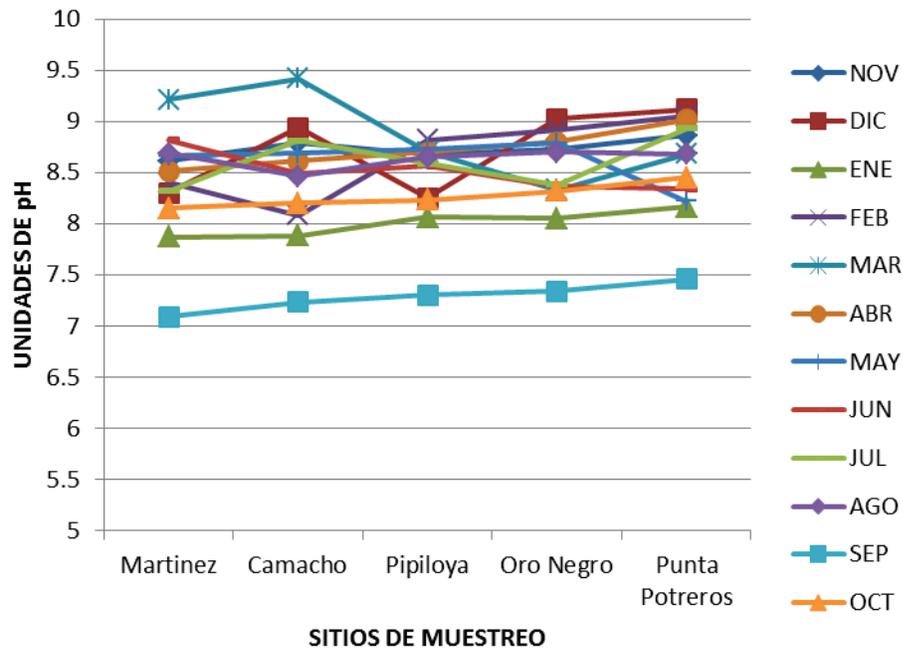


Figura 6. Valores de pH registrados en los sitios de muestreo de la Laguna de Tampamachoco.

### 6.1.5 Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto presentó un valor mínimo de 3.49 mg/L en octubre y un valor máximo de 7.15 mg/L en enero. Los valores más bajos de oxígeno disuelto registrados en los sitios de muestreo durante abril (secas) fueron los siguientes, en Martínez 4.39 mg/L, en Camacho 3.49 mg/L, en Pipiloya 4.37 mg/L, en Oro Negro 4.64 mg/L y en Punta Potrerros 5.16 mg/L. Mientras que los valores máximos fueron registrados en enero (nortes), en Martínez 7.03 mg/L, en Camacho 7.09 mg/L, en Pipiloya 7.09 mg/L, en Oro Negro 7.03 mg/L y en Punta Potrerros 7.15 mg/L (Figura 7).

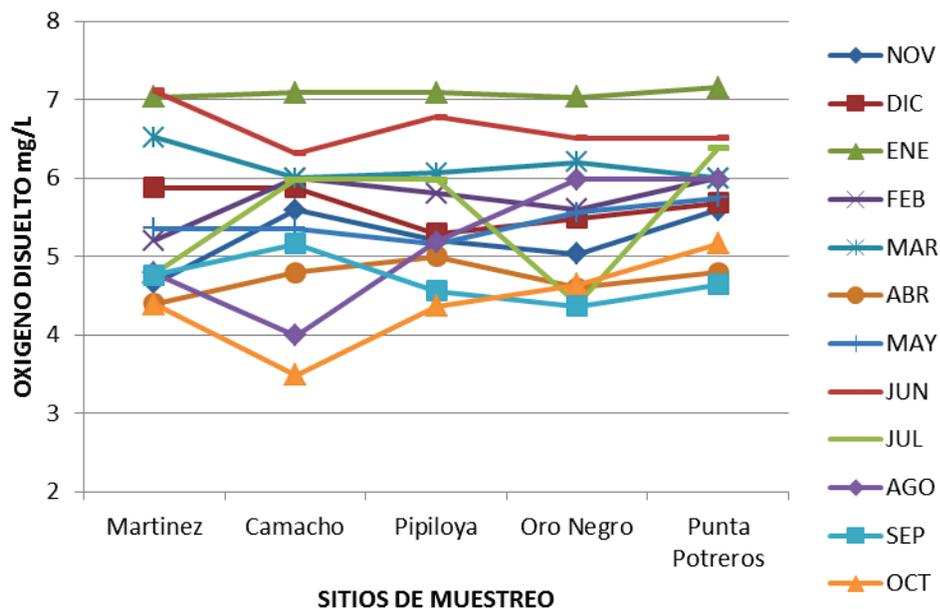


Figura 7. Valores de oxígeno disuelto registrados en los sitios de muestreo de la Laguna de Tampamachoco.



### **6.1.6 Análisis Estadístico de Parámetros Físicoquímicos**

El análisis de los datos obtenidos en cada una de las variables físicoquímicas estudiadas con respecto a los sitios de muestreo, mostro un comportamiento homogéneo con diferencias no significativas: Temperatura (KW,  $p = 0.9971$ ), Conductividad Eléctrica (KW,  $p = 0.72$ ), Salinidad (KW,  $p = 0.83$ ), pH (KW,  $p = 0.78$ ) y Oxígeno disuelto (KW,  $p = 0.68$ ).

En cuanto a los resultados del análisis estadístico de Kruskal Wallis con respecto a las temporadas climáticas de la región, se mostraron diferencias estadísticamente significativas: Temperatura (KW,  $p = 2.11^{-10}$ ), Conductividad Eléctrica (KW,  $p = 0.01$ ), Salinidad (KW,  $p = 0.0001$ ), pH (KW,  $p = 0.03$ ), mientras que Oxígeno disuelto (KW,  $p = 0.06$ ) mostró diferencias no significativas.



## **6.2 Metales pesados en tejidos de jaiba**

### **6.2.1 Plomo (Pb)**

#### **6.2.1.1 Plomo (Pb) en tejido blando de jaiba**

En la determinación de Pb en tejido blando de jaiba la concentración más alta se presentó en Camacho con 36.25 mg/kg para el mes de enero, mientras que la concentración más baja se presentó en el mes de noviembre de 2012 con 0.30 mg/kg. Cabe mencionar que en los meses restantes no se detectó la presencia de Plomo (Cuadro 1).

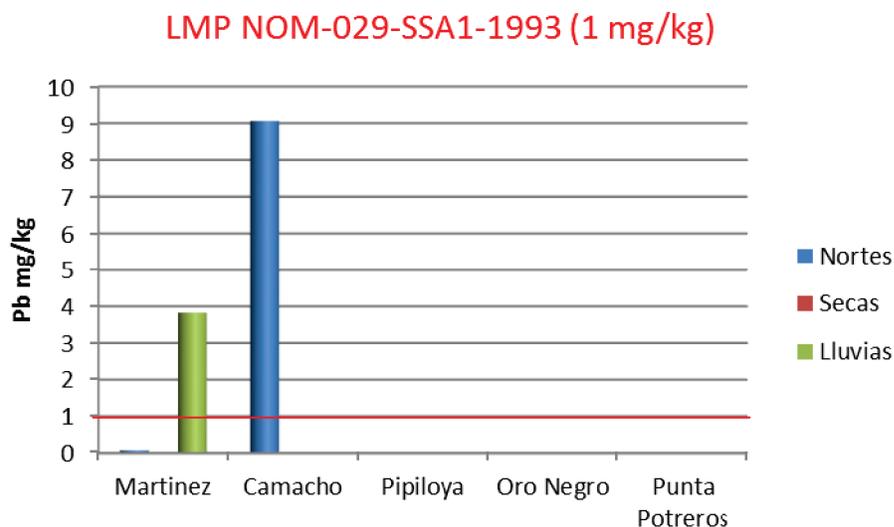
**Cuadro 1.** Concentración promedio mensual de Pb mg/kg en tejido blando de jaiba.

<b>Pb mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	ND	36.25	ND	ND	ND
<b>Febrero</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Marzo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Abril</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Mayo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Junio</b>	22.975	ND	ND	ND	ND
<b>Julio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Agosto</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	0.30	ND	ND	ND	ND
<b>Diciembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND

LMP= límite máximo permitido 1 mg/kg NOM-029-SSA1-1993 ND= No detectado

De acuerdo al límite máximo permitido establecido por la NOM-029-SSA1-1993, las lecturas reportadas en ambos sitios de muestreo, sobrepasan el límite máximo permitido.

En cuanto a las concentraciones de Plomo en tejido blando de jaiba en las diferentes temporadas climáticas para la Laguna de Tampamachoco, la mayor concentración se presentó en la temporada de nortes con un valor promedio de 9.96 mg/kg para el sitio Camacho, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 3.82 mg/kg para el sitio Martínez. Ambos valores se encuentran por encima de los límites máximos permitidos por la NOM-029-SSA1-1993 (Figura 8).



**Figura 8.** Concentración promedio de Pb mg/kg en tejido blando de jaiba por temporadas climáticas.



### **6.2.1.2 Plomo (Pb) en branquia de jaiba**

Con base en la determinación de Pb en branquias de jaiba la concentración más alta se presentó en Oro Negro con 37.30 mg/kg para el mes de mayo, por otro lado la concentración más baja fue registrada en el mes de noviembre de 2012 con 0.30 mg/kg. En los meses restantes no se detectó la presencia de Plomo (Cuadro 2).

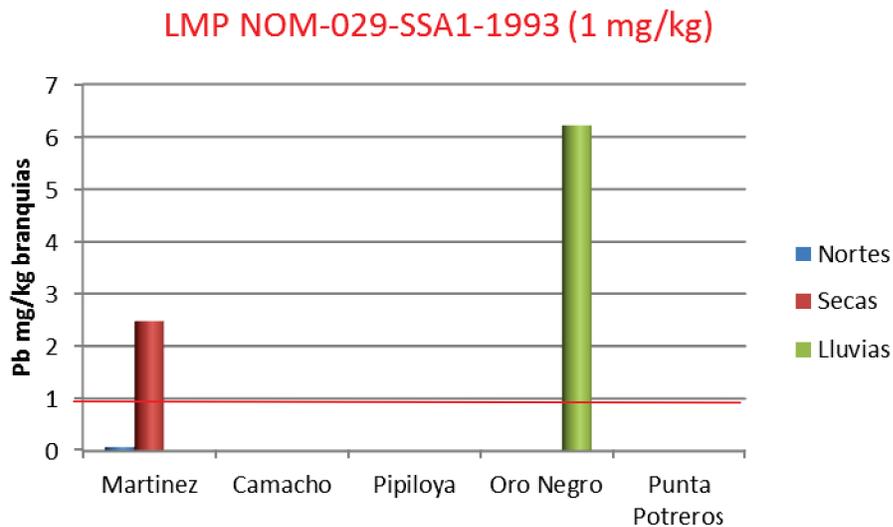
**Cuadro 2.** Concentración promedio mensual de Pb mg/kg en branquias de jaiba.

<b>Pb mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Febrero</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Marzo</b>	4.95	ND	ND	ND	ND
<b>Abril</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Mayo</b>	ND	ND	ND	37.30	ND
<b>Junio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Julio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Agosto</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	0.30	ND	ND	ND	ND
<b>Diciembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND

LMP= límite máximo permitido 1 mg/kg NOM-029-SSA1-1993 ND= No detectado

Respecto al límite máximo permitido establecido por la NOM-029-SSA1-1993, los valores descritos anteriormente sobrepasan el límite máximo permitido.

Con relación a las concentraciones de Plomo en branquias de jaiba en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de lluvias con una lectura promedio de 6.21 mg/kg para Oro Negro; la menor concentración se presentó en la temporada de nortes con una lectura promedio de 0.07 mg/kg para Martínez. Los valores descritos en las temporadas de secas y lluvias se encuentran por encima de los límites máximos permitidos (Figura 9).



**Figura 9.** Concentración promedio de Pb mg/kg en branquias de jaiba por temporadas climáticas.



## **6.2.2 Cadmio (Cd)**

### **6.2.2.1 Cadmio (Cd) en tejido blando de jaiba**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la determinación de Cd, se muestra una concentración máxima de 7.22 mg/kg para junio y una mínima de 0.15 mg/kg para diciembre en Martínez. Para el mes de enero se presenta una concentración máxima de 8.97 mg/kg y una mínima de 0.02 mg/kg para el mes de febrero en Camacho. En Pipiloya la concentración máxima se presentó en enero con 0.62 mg/kg y una mínima de 0.05 mg/kg para diciembre. En Oro Negro la concentración máxima se presentó en mayo con 8.47 mg/kg y una mínima de 0.05 mg/kg en diciembre. Finalmente para Punta Potreros la lectura máxima se presentó en noviembre con 0.60 mg/kg y una lectura mínima de 0.15 mg/kg en julio (Cuadro 3).

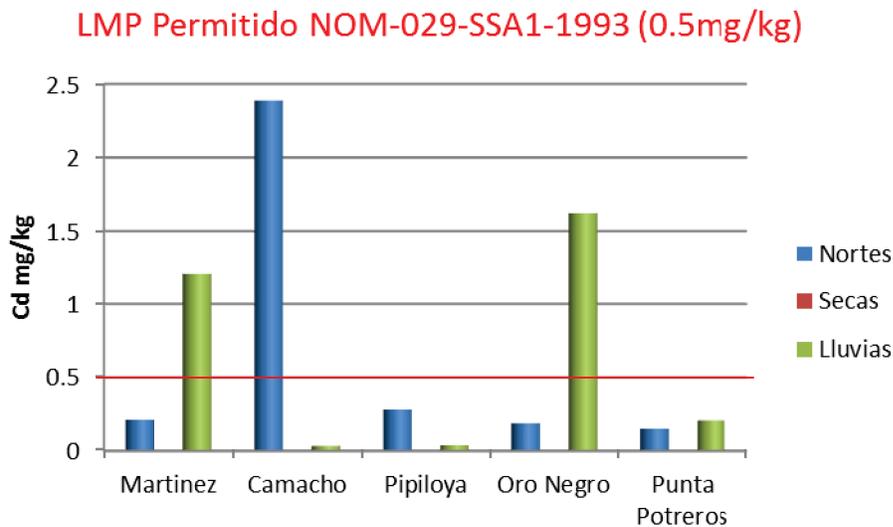
**Cuadro 3.** Concentración promedio mensual de Cd mg/kg en tejido blando de jaiba.

<b>Cd mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	ND	<b>8.975</b>	<b>0.625</b>	ND	ND
<b>Febrero</b>	ND	<b>0.025</b>	ND	ND	ND
<b>Marzo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Abril</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Mayo</b>	ND	ND	ND	<b>8.475</b>	ND
<b>Junio</b>	<b>7.225</b>	0.125	ND	ND	0.2
<b>Julio</b>	ND	0.075	ND	ND	<b>0.15</b>
<b>Agosto</b>	ND	ND	0.075	0.35	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	0.075	0.525	0.425
<b>Octubre</b>	ND	ND	0.075	0.375	0.475
<b>Noviembre 2012</b>	0.7	0.55	0.45	0.7	<b>0.60</b>
<b>Diciembre 2012</b>	<b>0.15</b>	ND	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	ND

LMP= límite máximo permitido 0.5 mg/kg NOM-029-SSA1-1993 ND= No detectado

De acuerdo al límite máximo permitido establecido por la NOM-029-SSA1-1993, en Martínez para el mes de junio, Camacho para los meses de enero y noviembre, Pipiloja en enero, Oro Negro en los meses de mayo, septiembre y noviembre, al igual que Punta Potrerros para noviembre, los valores registrados sobrepasan el límite máximo permitido.

La concentración de Cadmio en tejido blando en las diferentes temporadas climáticas, en la temporada de nortes se presentó la mayor concentración, con un valor promedio de 2.38 mg/kg para Camacho, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 0.03 mg/kg. Los valores en las temporadas de nortes y lluvias se encuentran por encima de los límites máximos permitidos (Figura 10).



**Figura 10.** Concentración promedio de Cd mg/kg en tejido blando de jaiba por temporadas climáticas.



### **6.2.2.2 Cadmio (Cd) en branquias de jaiba**

Los resultados de Cd muestran una concentración máxima de 1.45 mg/kg para el mes de noviembre y una concentración mínima de 0.05 mg/kg para el mes de julio y agosto en Martínez. Mientras que para el mes de febrero se presentó una concentración máxima de 0.72 mg/kg y una concentración mínima de 0.12 mg/kg para el mes de julio en Camacho. En Pipiloya la concentración máxima se presentó en el mes de noviembre con 0.65 mg/kg y una mínima de 0.02 mg/kg para el mes de mayo. En Oro Negro la concentración máxima se presentó en el mes de mayo con 9.30 mg/kg y una mínima de 0.05 mg/kg en el mes de junio. Finalmente para Punta Potrerros la lectura máxima se presentó en el mes de noviembre con 1.4 mg/kg y una lectura mínima de 0.02 mg/kg en el mes de febrero (Cuadro 4).

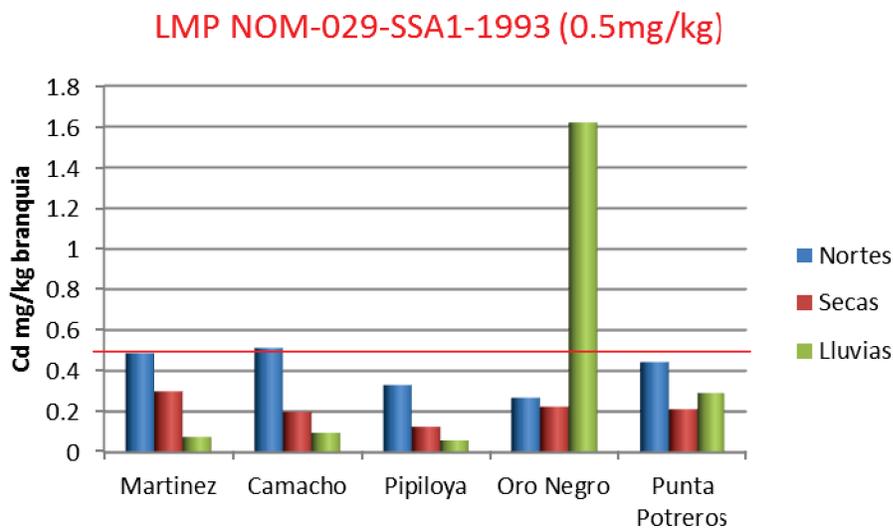
**Cuadro 4.** Concentración promedio mensual de Cd mg/kg en branquias de jaiba.

<b>Cd mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potrerros</b>
<b>Enero</b>	ND	0.075	0.275	0.05	0.05
<b>Febrero</b>	0.15	<b>0.725</b>	0.15	ND	<b>0.025</b>
<b>Marzo</b>	0.425	0.175	0.075	0.325	0.3
<b>Abril</b>	0.175	0.225	0.175	0.125	0.125
<b>Mayo</b>	0.175	0.15	<b>0.025</b>	<b>9.3</b>	ND
<b>Junio</b>	0.175	0.3	0.275	<b>0.05</b>	0.325
<b>Julio</b>	<b>0.05</b>	<b>0.125</b>	0.05	ND	0.4
<b>Agosto</b>	<b>0.05</b>	ND	ND	0.375	1.025
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	<b>1.45</b>	0.8	<b>0.65</b>	0.7	<b>1.4</b>
<b>Diciembre 2012</b>	0.35	0.45	0.25	0.325	0.3

LMP= límite máximo permitido 0.5 mg/kg NOM-029-SSA1-1993 ND= No detectado

En la comparación de los resultados obtenidos con el límite máximo permitido establecido por la NOM-029-SSA1-1993, en Martínez para noviembre, Camacho para los meses de febrero y diciembre, Pipiloya para los meses de enero y noviembre, Oro Negro en los meses de mayo y diciembre y Punta Potrerros para los meses de agosto, noviembre y diciembre los valores registrados sobrepasan el límite máximo permitido.

En la concentración de Cadmio en branquias de jaiba en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 1.62 mg/kg para Oro Negro, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 0.05 mg/kg en Pipiloya. Los valores registrados en las temporadas de nortes y lluvias se encuentran por encima de los límites máximos permitidos (Figura 11).



**Figura 11.** Concentración promedio de Cd mg/kg en branquias de jaiba por temporadas climáticas.



### **6.2.3 Cromo (Cr)**

#### **6.2.3.1 Cromo (Cr) en tejido blando de jaiba**

En la determinación de Cr se muestra una concentración máxima de 13.02 mg/kg para el mes de enero en Camacho y una concentración mínima de 0.20 mg/kg para el mes de octubre en Punta Potrerros (Cuadro 5).

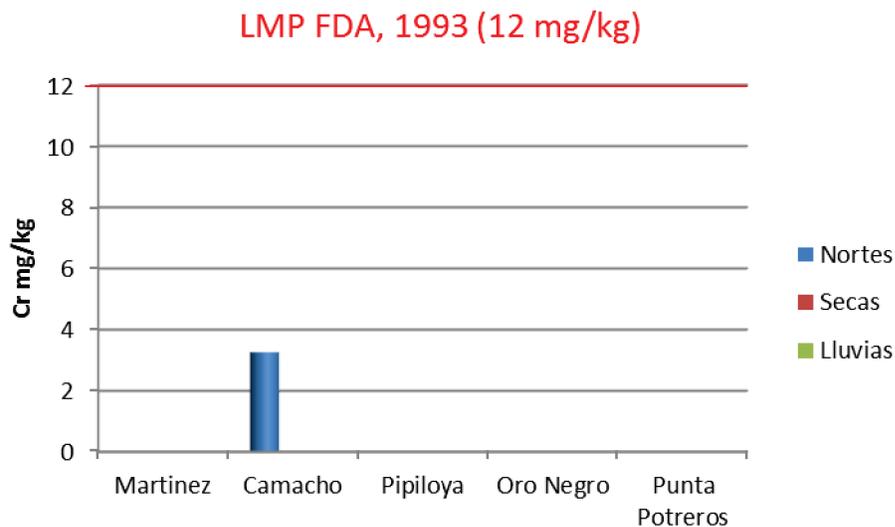
**Cuadro 5.** Concentración promedio mensual de Cr mg/kg en tejido blando de jaiba.

<b>Cr mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potrerros</b>
<b>Enero</b>	ND	13.025	ND	ND	ND
<b>Febrero</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Marzo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Abril</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Mayo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Junio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Julio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Agosto</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	0.20
<b>Noviembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Diciembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND

LMP= límite máximo permitido 12 mg/kg FDA, 1993 ND= No detectado

En cuanto al límite máximo permitido establecido por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, 1993), en Camacho para el mes de enero el valor registrado sobrepasa el límite máximo permitido.

La concentración de Cromo en tejido blando de jaiba en las diferentes temporadas climáticas, en la temporada de nortes se presentó la mayor concentración con un valor promedio de 3.25 mg/kg para Camacho, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 0.03 mg/kg en Punta Potrerros. Los valores registrados en las temporadas climáticas no sobrepasan los límites máximos permitidos por la FDA, 1993 (Figura 12).



**Figura 12.** Concentración promedio de Cr mg/kg en tejido blando de jaiba por temporadas climáticas.



### **6.2.3.2 Cromo (Cr) en branquias de jaiba**

Las concentraciones reportadas de Cr branquias de jaiba, se muestran con una concentración máxima de 0.50 mg/kg para el mes de agosto y una concentración mínima de 0.02 mg/kg para el mes de julio en Martínez. Mientras que para el mes de julio se presentó una concentración máxima de 0.25 mg/kg y una concentración mínima de 0.175 mg/kg para el mes de octubre en Camacho. En Pipiloja la máxima se presentó en el mes de septiembre con 0.25 mg/kg y una mínima de 0.15 mg/kg para el mes de octubre. En Oro Negro se presentó una concentración en el mes de agosto de 0.05 mg/kg. Finalmente para Punta Potreros la lectura máxima se presentó en el mes de agosto con 1.22 mg/kg y una lectura mínima de 0.20 mg/kg en el mes de julio (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Concentración promedio mensual de Cr mg/kg en branquias de jaiba.

<b>Cr mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloja</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Febrero</b>	ND	ND	ND	ND	0.225
<b>Marzo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Abril</b>	0.35	ND	ND	ND	0.225
<b>Mayo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Junio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Julio</b>	<b>0.20</b>	<b>0.25</b>	ND	ND	<b>0.2</b>
<b>Agosto</b>	<b>0.50</b>	0	ND	0.05	<b>1.225</b>
<b>Septiembre</b>	ND	ND	<b>0.25</b>	ND	0.275
<b>Octubre</b>	ND	<b>0.175</b>	<b>0.15</b>	ND	0.275
<b>Noviembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Diciembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND

LMP= límite máximo permitido 12 mg/kg FDA, 1993 ND= No detectado

Las concentraciones reportadas para cada uno de los sitios establecidos en los meses del año no sobrepasan el límite máximo permitido establecido por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, 1993).

Con relación a la concentración de Cromo en branquias de jaiba en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 0.32 mg/kg para Punta Potrerros, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 0.008 mg/kg en Oro Negro. Los valores registrados en las temporadas climáticas no sobrepasan el límite máximo permitido por la FDA, 1993 (Figura 13).

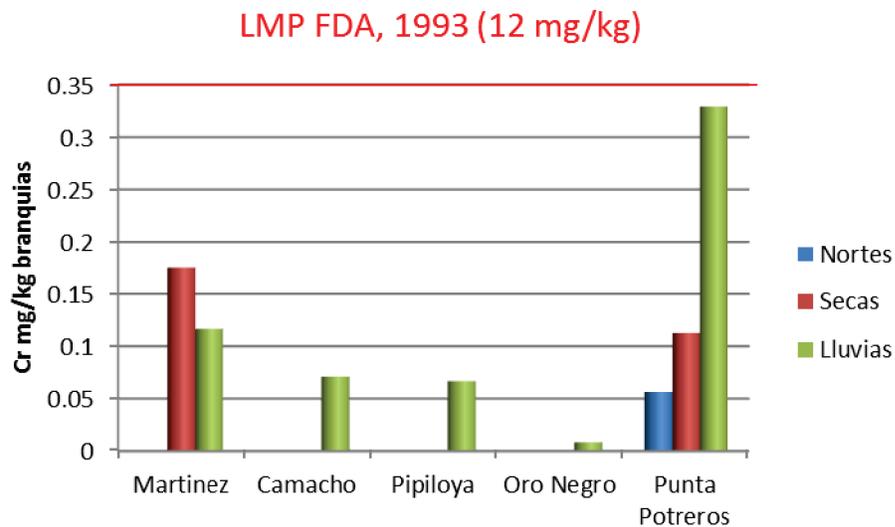


Figura 13. Concentración promedio de Cr mg/kg en branquias de jaiba por temporadas climáticas.



## **6.2.4 Cobre (Cu)**

### **6.2.4.1 Cobre (Cu) en tejido blando de jaiba.**

En la determinación de Cu en tejido blando de jaiba, las concentraciones presentaron una máxima de 67.82 mg/kg en septiembre y una mínima de 25.95 mg/kg para noviembre en Martínez. En Camacho una máxima de 65.10 mg/kg en octubre y una mínima de 23.80 mg/kg en diciembre. En Pipiloya la máxima se presentó en el mes de enero con 84.27 mg/kg y una mínima de 24.05 mg/kg para diciembre. En Oro Negro la máxima en enero con 73.75 mg/kg y una mínima de 27.20 mg/kg en diciembre. Finalmente para Punta Potreros se presentó una máxima de 74.57 mg/kg en septiembre y una mínima de 28.45 mg/kg en el mes de diciembre (Cuadro 7)

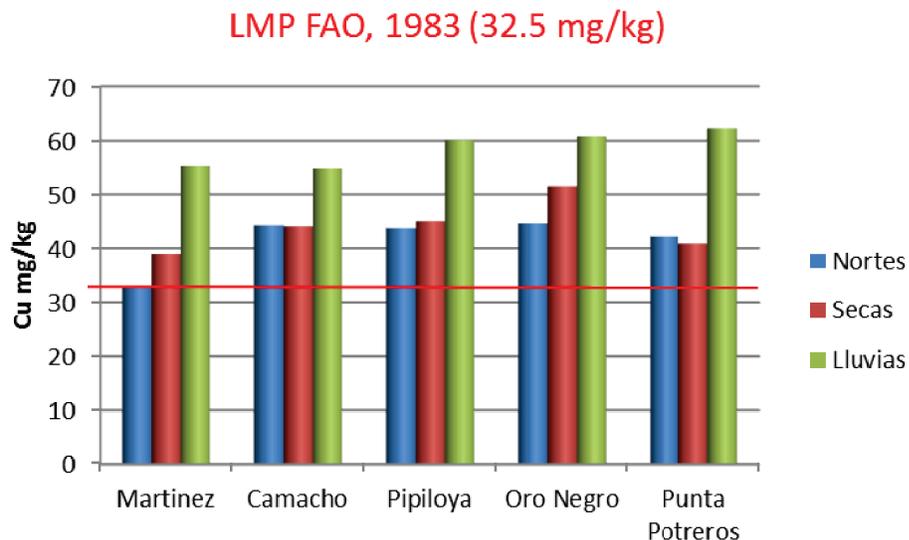
**Cuadro 7.** Concentración promedio mensual de Cu mg/kg en tejido blando.

<b>Cu mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	38.2	57.875	<b>84.275</b>	<b>73.75</b>	49.75
<b>Febrero</b>	39.075	60.4	37.55	46.675	55.625
<b>Marzo</b>	40.025	49.75	49.175	61.675	45.625
<b>Abril</b>	37.975	38.3	40.825	41.325	36.1
<b>Mayo</b>	50.225	43.025	43.3	41.35	38.7
<b>Junio</b>	57.225	47.15	62.6	67.7	69.425
<b>Julio</b>	56.75	57	73.8	45.05	58.775
<b>Agosto</b>	32.75	53.2	58.525	70.85	58.775
<b>Septiembre</b>	<b>67.825</b>	63.45	61.35	68.4	<b>74.575</b>
<b>Octubre</b>	66.85	<b>65.10</b>	61.2	70.8	73.25
<b>Noviembre 2012</b>	<b>25.95</b>	34.9	28.75	30.75	35.15
<b>Diciembre 2012</b>	28.25	<b>23.80</b>	<b>24.05</b>	<b>27.20</b>	<b>28.45</b>

LMP= límite máximo permitido 32.5 mg/kg FAO, 1983

En la comparación de los resultados con el límite máximo permitido establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1983), las concentraciones reportadas anteriormente sobrepasan los límites establecidos. Mientras que para noviembre en Martínez, diciembre en Camacho, Pipiloja, Oro Negro y Punta Potrerros las concentraciones se encuentran por debajo de lo establecido por la FAO (1983).

En cuanto a la concentración de Cobre en branquias de jaiba en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 62.25 mg/kg para Oro Negro, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de secas con un valor promedio de 32.86 mg/kg en Martínez. Los valores registrados en las temporadas climáticas sobrepasan el límite máximo permitido por la FAO (1983) (Figura 14).



**Figura 14.** Concentración promedio de Cu mg/kg en tejido blando de jaiba por temporadas climáticas.



### **6.2.4.2 Cobre (Cu) en branquias de jaiba.**

En la determinación de Cu en Martínez se presentó una concentración máxima de 155.87 mg/kg en julio y una concentración mínima de 88.42 mg/kg para abril. En Camacho se presentó una concentración máxima de 144.30 mg/kg en julio y una concentración mínima de 78.92 mg/kg en octubre. En Pipiloya la concentración máxima se presentó en el mes de julio con 146.3 mg/kg y una mínima de 94.25 mg/kg para marzo. En Oro Negro la concentración máxima se presentó en julio con 143.62 mg/kg y una mínima de 88.47 mg/kg en abril. Finalmente para Punta Potreros se presentó una máxima de 137.52 mg/kg en el en julio y una lectura mínima de 85.47 mg/kg en el mes de abril (Cuadro 8).

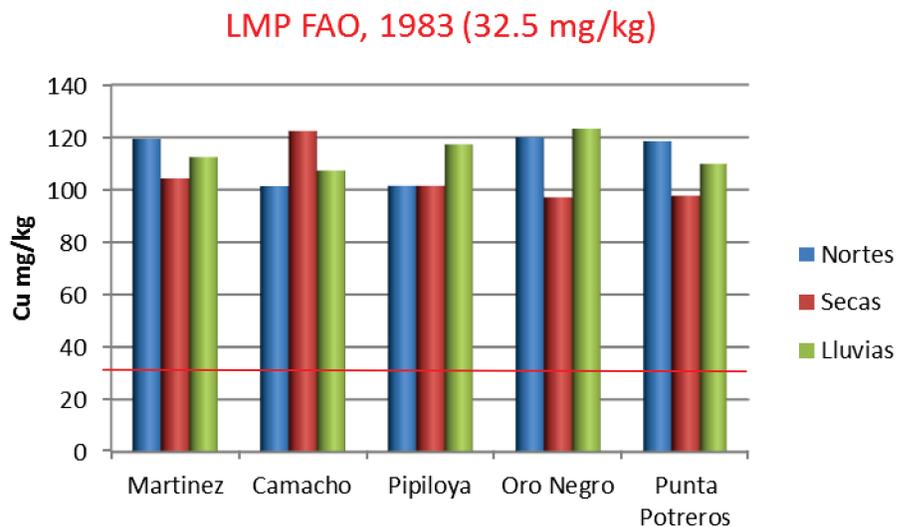
**Cuadro 8.** Concentración promedio mensual de Cu mg/kg en branquias de jaiba.

Cu mg/kg	Martínez	Camacho	Pipiloya	Oro Negro	Punta Potreros
<b>Enero</b>	114.725	99.1	102.325	119.8	119.25
<b>Febrero</b>	111.075	103.7	100.725	120.05	95.025
<b>Marzo</b>	120.25	114.6	<b>94.25</b>	105.8	110.05
<b>Abril</b>	<b>88.425</b>	130.225	108.775	<b>88.475</b>	<b>85.475</b>
<b>Mayo</b>	92	105.025	104.025	119.925	104.425
<b>Junio</b>	123.825	106.725	105.975	109	111.225
<b>Julio</b>	<b>155.875</b>	<b>144.30</b>	<b>146.3</b>	<b>143.625</b>	<b>137.525</b>
<b>Agosto</b>	139.1	111.075	146	139.75	125.6
<b>Septiembre</b>	81.575	98.2	100.3	114.25	90.325
<b>Octubre</b>	82.05	<b>78.925</b>	101.15	113.2	90.25
<b>Noviembre 2012</b>	132.2	Alto	Alto	Alto	141.3
<b>Diciembre 2012</b>	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

LMP= límite máximo permitido 32.5 mg/kg FAO, 1983 Alto= rebasa el límite de sensibilidad del equipo

Respecto al límite máximo permitido establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1983), las concentraciones reportadas en los sitios establecidos en los meses del año sobrepasan los límites establecidos. Así mismo, para cada uno de los sitios en los meses de noviembre y diciembre, los valores rebasaron la sensibilidad de medición del equipo por lo que se consideró alta su concentración.

La concentración de Cobre en branquias de jaiba en las diferentes temporadas climáticas; la mayor concentración se presentó en la temporadas de lluvias con un valor promedio de 123.29 mg/kg para Oro Negro, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de secas con un valor promedio de 97.13 mg/kg en Oro Negro. Los valores registrados en las temporadas climáticas sobrepasan el límite máximo permitidos por la FAO (1983) (Figura 15).



**Figura 15.** Concentración promedio de Cu mg/kg en branquia de jaiba por temporadas climáticas.



## **6.2.5 Análisis Estadístico de Metales pesados en tejidos de jaiba**

### **Análisis Kruskal Wallis**

Se realizaron diferentes análisis para la comparación de las concentraciones de los metales pesados en tejidos con respecto a los sitios de muestreo, encontrándose lo siguiente.

De acuerdo a los resultados obtenidos en tejido blando de jaiba se encontró que: Plomo (KW,  $p = 0.2482$ ), Cadmio (KW,  $p = 0.8577$ ), Cromo (KW,  $p = 0.5491$ ) y Cobre (KW,  $p = 0.896$ ). Los resultados obtenidos en el análisis de Kruskal Wallis demuestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los sitios, lo que indica una homogeneidad entre ellos.

Con respecto a los resultados en branquias de jaiba se encontró que: Plomo (KW,  $p = 0.2482$ ), Cadmio (KW,  $p = 0.977$ ), Cromo (KW,  $p = 0.07894$ ) y Cobre (KW,  $p = 0.8919$ ). Los resultados obtenidos muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que de igual manera existe homogeneidad entre sitios.

Con base en los datos obtenidos en el análisis de Kruskal Wallis de los metales pesados en tejidos con respecto a las temporadas climáticas de la región se encontraron los siguientes valores:

Respecto a los valores obtenidos en tejido blando de jaiba se encontró que: Plomo (KW,  $p = 0.42$ ), Cromo (KW,  $p = 0.76$ ) y Cobre (KW,  $p = 0.09$ ) no presentaron



diferencias estadísticamente significativas, mientras que Cadmio (KW,  $p = 0.01$ ) presento diferencias estadísticamente significativas.

En cuanto a branquias de jaiba por temporadas climáticas se encontró que: Plomo (KW,  $p = 0.71$ ), Cadmio (KW,  $p = 0.0004$ ), Cromo (KW,  $p = 0.05$ ) y Cobre (KW,  $p = 7.23^{-9}$ ), siendo el caso de Plomo el que no presenta diferencias estadísticamente significativas. Por el contrario para Cd, Cr y Cu si existen diferencias significativas.



## Análisis de Correlación Spearman

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de correlación Spearman, donde fueron relacionadas las concentraciones de metales pesados en tejido blando con los parámetros fisicoquímicos, el análisis mostró una relación directa entre la Temperatura (TEM) y la concentración de Cobre (CUM) ( $\rho = 0.32$ ,  $p = 0.01$ ), por el contrario la relación entre la Salinidad (SAL) y el Cadmio (CDM) fue inversa ( $\rho = -0.29$ ,  $p = 0.02$ ), de igual manera la relación inversa entre el pH y el Cobre (CUM) ( $\rho = -.501$ ,  $p = 4.48^{-05}$ ) (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Análisis de correlación de Spearman para metales en tejido blando.

	TEM	CON	SAL	PH	OXI	PBM	CDM	CRM	CUM
TEM	1.000								
CON	.063	1.000							
SAL	-.231	.892	1.000						
PH	-.145	.501	.423	1.000					
OXI	-.277	.271	.309	.169	1.000				
PBM	-.062	-.039	-.011	-.019	.170	1.000			
CDM	.157	-.220	<b>-.290*</b>	-.073	.041	.410	1.000		
CRM	-.111	-.222	-.178	-.157	.097	.405	.300	1.000	
CUM	<b>.327*</b>	-.166	-.139	<b>-.501*</b>	.092	-.054	.080	.175	1.000

\*Significancia 0.05



El análisis de correlación Spearman para metales pesados en branquias mostró relación directa entre el Cadmio (CDB) y la conductividad eléctrica (CON) ( $\rho = 0.31$ ,  $p = 0.01$ ), pH ( $\rho = 0.47$ ,  $p = 0.0001$ ) y oxígeno disuelto (OXI) ( $\rho = 0.39$ ,  $p = 0.002$ ); en la relación de Cromo (CRB) y Oxígeno disuelto mostró una relación inversa ( $\rho = -0.25$ ,  $p = 0.04$ ); finalmente en la relación de Cobre (CUB) y pH, se mostró una relación directa ( $\rho = 0.35$ ,  $p = 0.005$ ) (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Análisis de correlación de Spearman para metales en branquias.

	TEM	CON	SAL	PH	OXI	PBB	CDB	CRB	CUB
TEM	1.000								
CON	.063	1.000							
SAL	-.231	.892	1.000						
PH	-.145	.501	.423	1.000					
OXI	-.277	.271	.309	.169	1.000				
PBB	-.136	.018	.048	.199	.018	1.000			
CDB	-.212	<b>.318*</b>	.236	<b>.475*</b>	<b>.390*</b>	.350	1.000		
CRB	.231	-.163	-.195	.020	<b>-.259*</b>	-.125	-.170	1.000	
CUB	.059	-.071	-.237	<b>.351*</b>	.176	.121	.464	-.193	1.000

\*Significancia 0.05



## **Análisis de componentes principales para tejidos de jaiba**

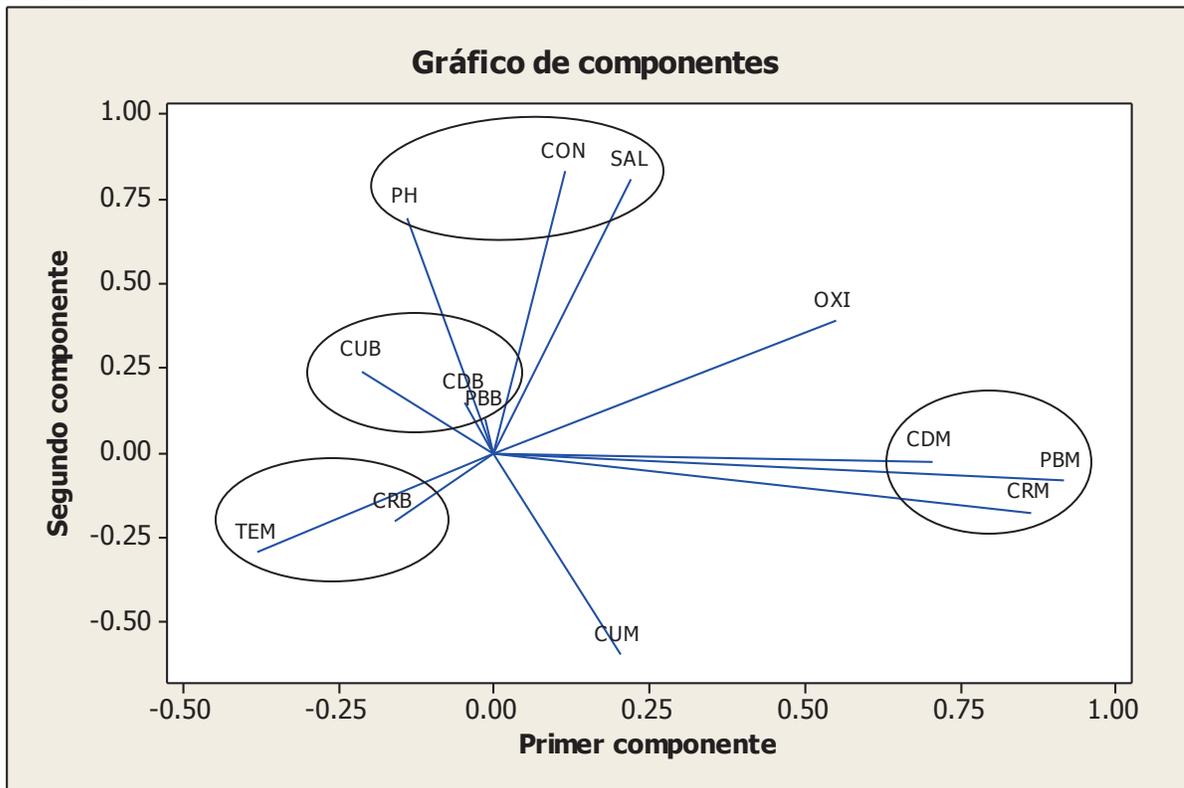
Se realizaron análisis no paramétricos de componentes principales con el propósito de evaluar cuáles son las variables que explican el mayor porcentaje de la varianza acumulada, tomando en cuenta los primeros componentes.

El análisis de componentes principales muestra que la variabilidad es explicada por los tres primeros componentes principales en un 59% de la variabilidad total de los datos originales; CP1 explicó el 23.95%, CP2 explicó el 19.50% y CP3 explicó el 15.53% (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Porcentaje de la variación acumulada en los tres primeros componentes.

	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
<b>Eigenvalores</b>	3.11	2.53	2.02
<b>Porcentaje</b>	23.95	19.5	15.53
<b>Acumulado</b>	23.95	43.46	59

La combinación entre el primer y segundo componente separa a las muestras en cuatro asociaciones; la primera agrupación corresponde a las muestras (TEM y CRB), la segunda agrupación (CDM, PBM y CRM), la tercera agrupación (CON, SAL y PH) y la cuarta agrupación (CDB, PBB y CUB) (Figura 16).



**Figura 16.** Agrupaciones entre variables en el análisis de componentes principales.

El primer componente está representado por la correlación que mantienen las variables 6 (Plomo en tejido blando), 8 (Cadmio en tejido blando) y 10 (Cromo en tejido blando). El segundo componente está determinado por las variables 2 (Conductividad), 3 (Salinidad) y 4 (pH). El tercer componente está determinado por las variables 7 (Plomo en branquias) y 8 (Cadmio en branquias) (Cuadro 12).



**Cuadro 12.** Coeficiente de cada variable en los tres primeros componentes principales.

	CP1	CP2	CP3
<b>1</b>	-0.150	-0.122	0.113
<b>2</b>	0.032	0.323	-0.020
<b>3</b>	0.076	0.316	-0.055
<b>4</b>	-0.064	0.269	0.012
<b>5</b>	0.208	0.153	-0.088
<b>6</b>	0.340	-0.045	-0.013
<b>7</b>	-0.062	-0.014	0.419
<b>8</b>	0.226	-0.052	0.251
<b>9</b>	-0.075	0.005	0.419
<b>10</b>	0.323	-0.080	-0.021
<b>11</b>	-0.059	-0.079	0.022
<b>12</b>	0.088	-0.230	-0.033
<b>13</b>	-0.084	0.094	0.016



### **6.3 Metales pesados sedimentos**

#### **6.3.1 Plomo (Pb)**

En la determinación de Pb en sedimentos se presentó una concentración máxima de 54.50 mg/kg para el mes de enero y una concentración mínima de 0.30 mg/kg para el mes de noviembre en el sitio Martínez. Mientras que para el mes de junio se presentó una concentración máxima de 59.85 mg/kg y una concentración mínima de 2.10 mg/kg en el mes de septiembre en Camacho. En Pipiloia la concentración máxima se presentó en el mes de febrero con 112.55 mg/kg y una concentración mínima de 3.82 mg/kg en el mes de octubre. En Oro Negro se presentó una concentración máxima en junio de 50.07 mg/kg y una concentración mínima de 2.85 mg/kg en el mes de octubre. Finalmente para el sitio Punta Potreros, se presentó una concentración máxima de 37.80 mg/kg en el mes de junio y una concentración mínima de 1.37 mg/kg en el mes de octubre (Cuadro 13).



**Cuadro 13.** Concentración promedio mensual de Pb mg/kg en sedimentos

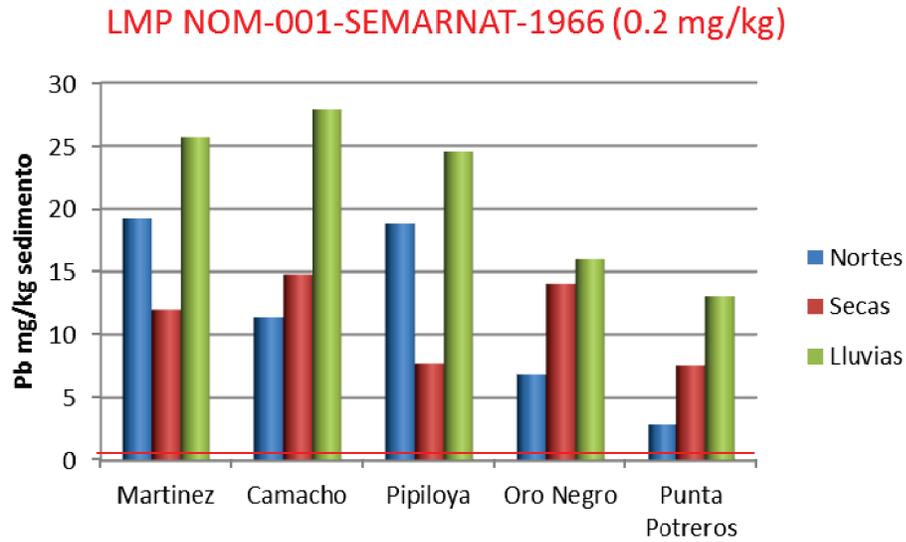
Pb mg/kg	Martínez	Camacho	Pipiloya	Oro Negro	Punta Potreros
<b>Enero</b>	<b>54.50</b>	20.575	18.925	13.775	2.625
<b>Febrero</b>	22.075	25.075	56.275	13.55	8.8
<b>Marzo</b>	12.225	20.35	8.5	18.575	8.4
<b>Abril</b>	11.7	9.225	6.975	9.5	6.75
<b>Mayo</b>	21.575	42.825	24.05	20.275	14.15
<b>Junio</b>	49.35	<b>59.85</b>	<b>60.525</b>	<b>50.075</b>	<b>37.80</b>
<b>Julio</b>	51.1	45.6	31.775	8.025	20.4
<b>Agosto</b>	29.85	16.8	18.975	8.6	1.55
<b>Septiembre</b>	1.825	<b>2.10</b>	8.125	6.275	3.125
<b>Octubre</b>	0.525	ND	<b>3.825</b>	<b>2.85</b>	<b>1.375</b>
<b>Noviembre 2012</b>	<b>0.30</b>	ND	ND	ND	ND
<b>Diciembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND

LMP= límite máximo permitido 0.2 mg/kg NOM-001-SEMARNAT-1996 y la ECOL-001-1996  
ND= No detectado

De acuerdo al límite máximo permitido establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-ECOL-001-1996, las concentraciones reportadas en los sitios establecidos sobrepasan los límites permitidos.

En cuanto a la concentración de Plomo presente en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de lluvias con un valor promedio de 25.70 mg/kg para Martínez, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de nortes con un valor promedio de 2.85 mg/kg en Punta Potreros. Los valores registrados en las temporadas climáticas sobrepasan los límites máximos

permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-ECOL-001-1996, (Figura 17).



**Figura 17.** Concentración promedio de Pb mg/kg en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



### **6.3.2 Cadmio (Cd)**

Los resultados obtenidos de Cd en sedimentos muestran una concentración máxima de 7.47 mg/kg para el mes de enero y una concentración mínima de 2.80 mg/kg para el mes de agosto en Martínez. Mientras que en Camacho se presentó concentración máxima de 8.10 mg/kg en junio y una concentración mínima de 0.02 mg/kg para el mes de enero. En Pipiloya se presentó una concentración máxima en el mes de junio con 7 mg/kg y una concentración mínima de 0.15 mg/kg para el mes de noviembre y febrero. En Oro Negro se presentó una concentración máxima de 6.80 mg/kg en junio y una concentración mínima de 0.40 mg/kg en noviembre. Finalmente para Punta Potreros una concentración máxima de 6.22 mg/kg en junio y una concentración mínima de 0.65 mg/kg en el mes de noviembre (Cuadro 14).

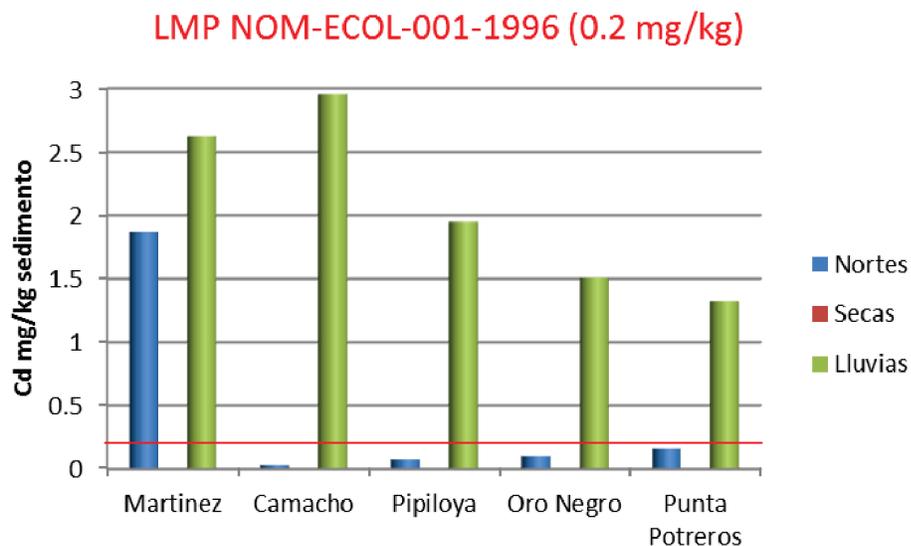
**Cuadro 14.** Concentración promedio mensual de Cd mg/kg en sedimentos.

<b>Cd mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	<b>7.475</b>	<b>0.025</b>	ND	ND	ND
<b>Febrero</b>	ND	ND	<b>0.15</b>	ND	ND
<b>Marzo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Abril</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Mayo</b>	ND	5.975	ND	ND	ND
<b>Junio</b>	5.9	<b>8.10</b>	<b>7</b>	<b>6.80</b>	<b>6.225</b>
<b>Julio</b>	7.05	3.675	2.55	2.25	1.725
<b>Agosto</b>	<b>2.8</b>	ND	2.15	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	ND	0.10	<b>0.15</b>	<b>0.40</b>	<b>0.65</b>
<b>Diciembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND

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

De acuerdo al límite máximo permitido establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-ECOL-001-1996, las concentraciones reportadas en los sitios establecidos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco sobrepasan los límites establecidos.

La concentración de Cadmio presente en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, presentó la mayor concentración en la temporada de lluvias con una lectura promedio de 2.95 mg/kg para Camacho, la menor concentración fue reportada en la temporada de nortes con una lectura promedio de 0.03 mg/kg en Camacho. Los valores registrados en las temporadas de nortes y lluvias sobrepasan los límites máximos permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-ECOL-001-1996, (Figura 18).



**Figura 18.** Concentración promedio de Cd mg/kg en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



### **6.3.3 Cromo (Cr)**

El Cr en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco muestra una concentración máxima de 9.90 mg/kg para el mes de enero y una concentración mínima de 2.57 mg/kg para el mes de septiembre en Martínez; en Camacho se presentó una concentración máxima de 10.5 mg/kg en noviembre y una concentración mínima de 2.50 mg/kg para el mes de octubre; En Pipiloya la concentración máxima se presentó en el mes de marzo con 9.82 mg/kg y una concentración mínima de 3.17 mg/kg para el mes de octubre. En Oro Negro se presentó una concentración máxima de 9.70 mg/kg en noviembre y una concentración mínima de 3.30 mg/kg en septiembre. Finalmente para Punta Potrerros una concentración máxima de 13.90 mg/kg en noviembre y una concentración mínima de 2.875 mg/kg en el mes de agosto (Cuadro 15).

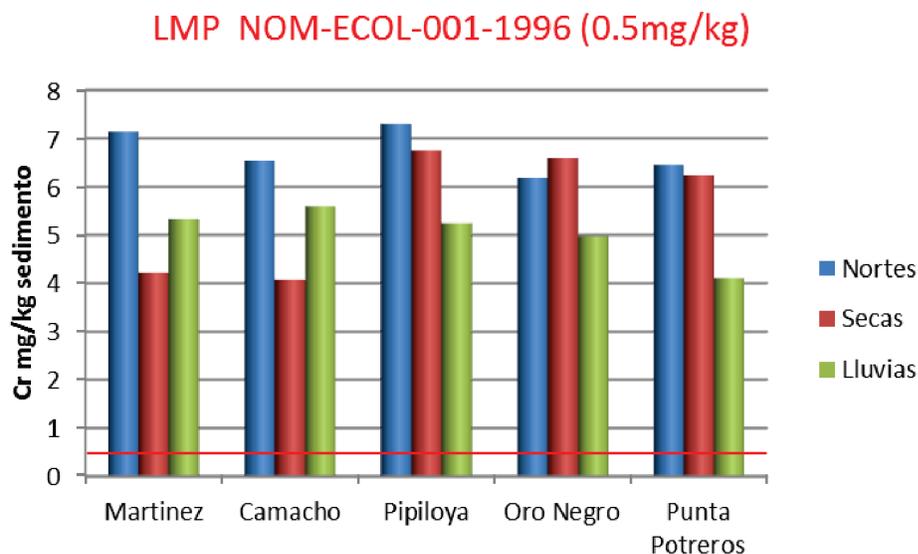
**Cuadro 15.** Concentración promedio mensual de Cr mg/kg en sedimentos.

<b>Cr mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potrerros</b>
<b>Enero</b>	<b>9.90</b>	5.075	5.2	5.375	4
<b>Febrero</b>	4.2	5.3	9.15	4.725	3.725
<b>Marzo</b>	4.3	4.725	<b>9.825</b>	9.15	8.85
<b>Abril</b>	4.125	3.425	3.675	4.05	3.625
<b>Mayo</b>	4.625	8.025	4.85	4.55	3.55
<b>Junio</b>	8.05	9.225	9.9	9.05	7.35
<b>Julio</b>	8.3	7.1	5.925	5.75	5.1
<b>Agosto</b>	5.8	3.925	4.35	3.975	<b>2.875</b>
<b>Septiembre</b>	<b>2.575</b>	2.75	3.25	<b>3.30</b>	2.95
<b>Octubre</b>	2.6	<b>2.50</b>	<b>3.175</b>	3.225	2.825
<b>Noviembre 2012</b>	9.7	<b>10.5</b>	9.45	<b>9.70</b>	<b>13.90</b>
<b>Diciembre 2012</b>	4.775	5.3	5.4	4.925	4.175

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

Los resultados obtenidos comparados con el límite máximo permitido establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-ECOL-001-1996, sobrepasan los límites establecidos.

En cuanto a la concentración de Cromo presente en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de nortes con una lectura promedio de 7.14375 mg/kg para Martínez, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de secas con una lectura promedio de 4.075 mg/kg en Camacho. Los valores registrados en las temporadas de nortes y lluvias sobrepasan los límites máximos permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-ECOL-001-1996 (Figura 19).



**Figura 19.** Concentración promedio de Cr mg/kg en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



### **6.3.4 Cobre (Cu)**

La concentración máxima en la determinación de Cobre fue de 9.47 mg/kg para el mes de enero y una concentración mínima de 0.42 mg/kg en el mes de mayo en Martínez. En Camacho se presentó una concentración máxima de 8.57 mg/kg en junio y una concentración mínima de 0.65 mg/kg en el mes de abril. En Pipiloja la concentración máxima se presentó en el mes de febrero con 10 mg/kg y una concentración mínima de 1.87 mg/kg en el mes de mayo. En Oro Negro se presentó una concentración máxima de 8.02 mg/kg en junio y una concentración mínima de 0.90 mg/kg en abril. Finalmente para Punta Potreros una concentración máxima de 8.45 mg/kg en noviembre y una concentración mínima de 0.50 mg/kg en el mes de mayo (Cuadro 16).

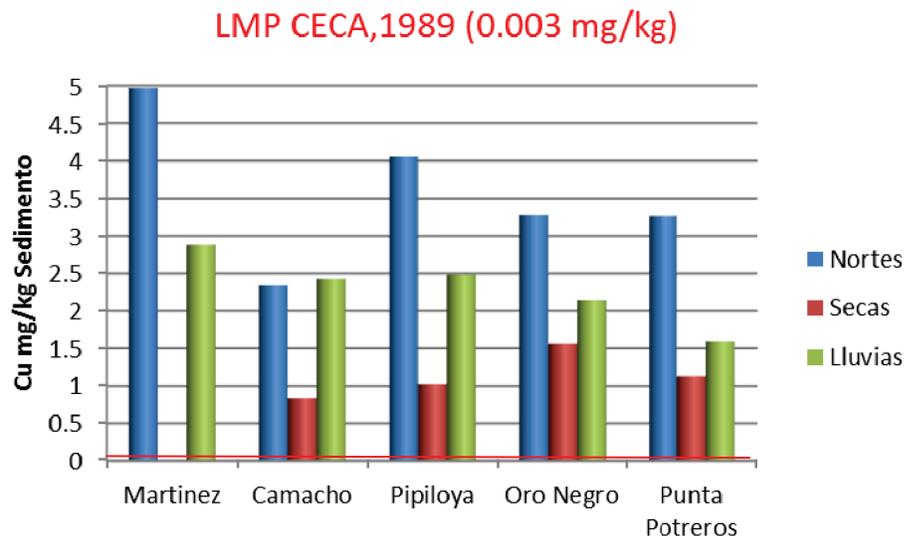
**Cuadro 16.** Concentración promedio mensual de Cu mg/kg en sedimentos.

<b>Cu mg/kg</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloja</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	<b>9.475</b>	ND	1.8	2.275	ND
<b>Febrero</b>	3.8	ND	<b>10</b>	3.6	5.2
<b>Marzo</b>	ND	1.025	2.05	2.225	0.95
<b>Abril</b>	ND	<b>0.65</b>	0	<b>0.90</b>	1.3
<b>Mayo</b>	<b>0.425</b>	2.3	<b>1.875</b>	1.7	<b>0.50</b>
<b>Junio</b>	5.65	<b>8.575</b>	8.3	<b>8.025</b>	6.9
<b>Julio</b>	9.175	3.675	4.725	3.125	2.15
<b>Agosto</b>	2.05	ND	ND	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	6.25	6.7	6.6	6.2	<b>8.45</b>
<b>Diciembre 2012</b>	2.25	2.65	2.825	2.825	2

LMP= límite máximo permitido LMP 0.003 mg/kg (CECA, 1989) y FAO 1983 con 32.5 mg/kg

De acuerdo al límite máximo permitido establecido por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989), las concentraciones reportadas en cada uno de los sitios establecidos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco, sobrepasan los límites establecidos en todos los meses del año.

La concentración de Cobre presente en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, presentó una mayor concentración en la temporada de nortes con un valor promedio de 4.96 mg/kg para Martínez, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de secas con un valor promedio de 0.83 mg/kg en Camacho. Los valores registrados en las temporadas de nortes y lluvias sobrepasan los límites máximos permitidos por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989) (Figura 20).



**Figura 20.** Concentración promedio de Cu mg/kg en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



### **6.3.5 Análisis Estadístico Metales pesados en sedimentos**

#### **Análisis Kruskal Wallis**

El análisis de los datos obtenidos en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco, mostró un comportamiento homogéneo con diferencias no significativas en cada uno de los metales estudiados con respecto a los sitios de muestreo: Plomo (KW,  $p = 0.51$ ), Cadmio (KW,  $p = 0.84$ ), Cromo (KW,  $p = 0.73$ ) y Cobre (KW,  $p = 0.90$ ).

En el análisis de Kruskal Wallis para los sedimentos de la laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas el Plomo (KW,  $p = 0.32$ ) no presentó diferencias significativas, mientras que para Cadmio (KW,  $p = 0.02$ ), Cromo (KW,  $p = 1.01^{-7}$ ) y Cobre (KW,  $p = 0.002$ ) si se presentaron diferencias estadísticamente significativas en relación a las temporadas climáticas.



## Análisis de Correlación Spearman

Con base en los resultados obtenidos en el análisis de correlación Spearman para metales pesados en sedimentos se mostró relación directa entre el Cadmio (CDS) y el oxígeno disuelto (OXI) ( $\rho = 0.28$ ,  $p = 0.02$ ); en cuanto al Cromo (CRS) y pH mostró una relación directa ( $\rho = 0.26$ ,  $p = 0.04$ ); finalmente en la relación de Cobre (CUS) y pH se mostró una relación directa ( $\rho = 0.29$ ,  $p = 0.02$ ) (Cuadro 15).

**Cuadro 17.** Análisis de correlación de Spearman para metales en sedimentos.

	TEM	CON	SAL	PH	OXI	PBS	CDS	CRS	CUS
TEM	1.000								
CON	.063	1.000							
SAL	-.231	.892	1.000						
PH	-.145	.501	.423	1.000					
OXI	-.277	.271	.309	.169	1.000				
PBS	.181	.439	.357	.007	.406	1.000			
CDS	.416	.132	-.107	.074	<b>.284*</b>	.534	1.000		
CRS	-.071	.204	.095	<b>.265*</b>	.482	.339	.653	1.000	
CUS	.111	.131	-.044	<b>.295*</b>	.360	.260	.679	.845	1.000

\*Significancia 0.05



## **Análisis de componentes principales en sedimentos**

Con base en los a los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales, la variabilidad es explicada en los dos primeros componentes principales en un 62.32% de la variabilidad total de los datos originales; CP1 38.20% y CP2 24.12% (Cuadro 18).

**Cuadro 18.** Porcentaje de la variación acumulada en los dos primeros componentes.

	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
<b>Eigenvalores</b>	3.43	2.17
<b>Porcentaje</b>	38.2	24.12
<b>Acumulado</b>	38.2	62.23

En la combinación del primer y segundo componente, la muestra de datos es separada en dos asociaciones; la primera agrupación corresponde a las muestras (CRS, PBS, CUS, CDS) y la segunda asociación (SAL, CON, PH y OXI) (Figura 21)

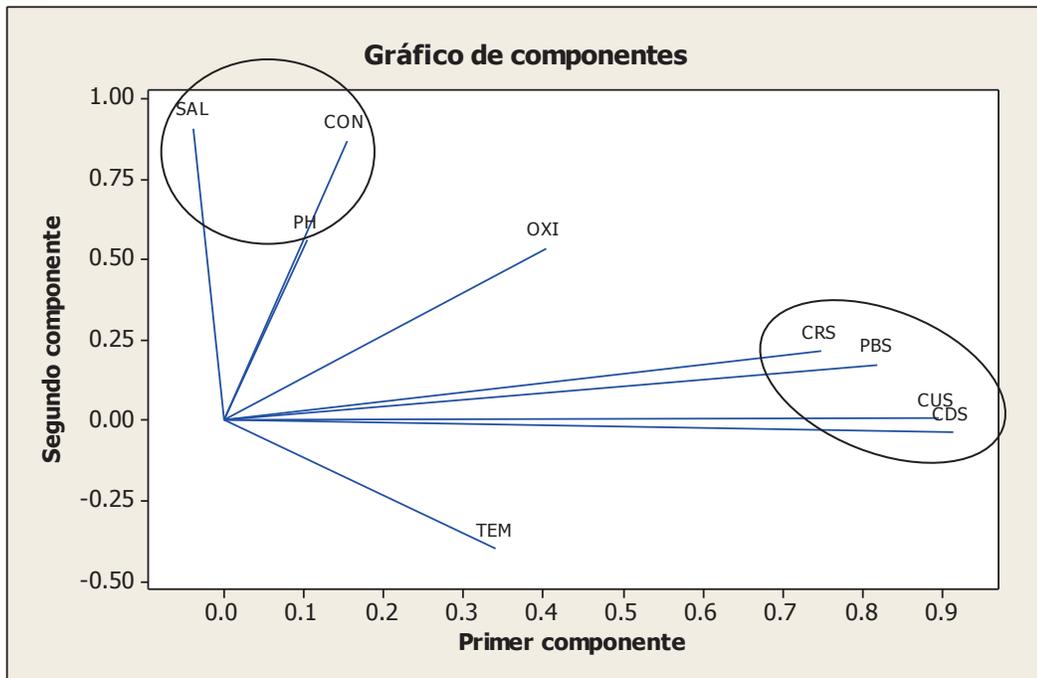


Figura 10. Agrupaciones entre variables.

El primer componente está representado por la correlación que mantienen las variables 6 (Plomo en sedimentos), 7 (Cadmio en sedimentos), 8 (Cromo en sedimentos) y 9 (Cobre en sedimentos). El segundo componente está determinado por las variables 2 (Conductividad), 3 (Salinidad) y 4 (pH) (Cuadro 19).

**Cuadro 19.** Coeficiente de cada variable en los dos primeros componentes principales.

	CP1	CP2
1	0.138	-0.195
2	-0.010	0.360
3	-0.075	0.391
4	-0.004	0.232
5	0.094	0.201
6	0.255	0.018
7	0.300	-0.079
8	0.229	0.040
9	0.291	-0.059

## **6.4 Metales pesados agua**

### **6.4.1 Plomo (Pb)**

Con base a los resultados obtenidos en la determinación de Pb en agua se muestra una concentración máxima de 0.20 mg/L para el mes de enero y una concentración mínima de 0.05 mg/L para julio en Martínez, mientras que para Camacho se presentó concentración máxima de 0.22 mg/L y una concentración mínima de 0.04 mg/L para el mes de agosto. En Pipiloja la concentración máxima se presentó en junio con 0.25 mg/L y en septiembre con una concentración mínima de 0.05 mg/L. En Oro Negro se presentó una concentración máxima en febrero de 0.25 mg/L y una concentración mínima de 0.04 mg/L en septiembre. Finalmente para Punta Potreros una concentración máxima de 0.22 mg/L en julio y una concentración mínima de 0.07 mg/L en el mes de agosto (Cuadro 20).

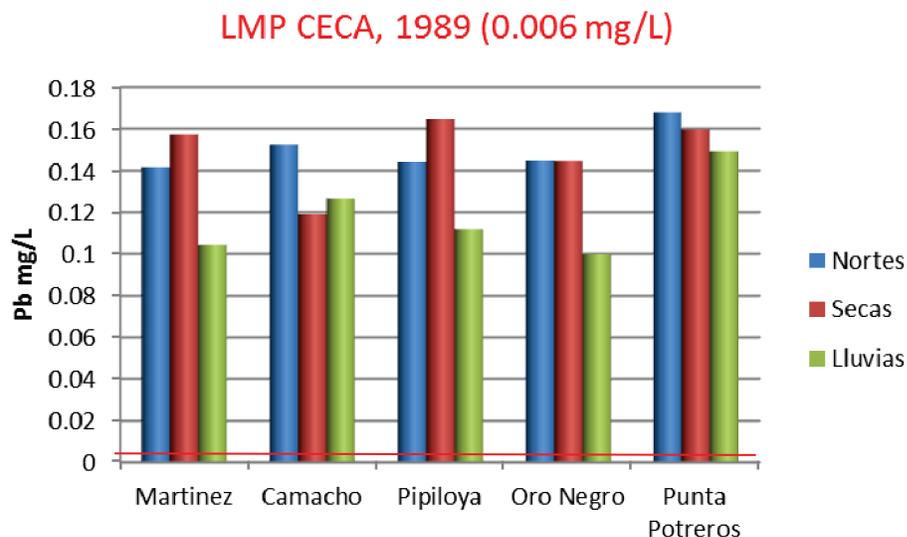
**Cuadro 20.** Concentración promedio mensual de Pb mg/L en agua.

<b>Pb mg/L</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloja</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	<b>0.2055</b>	0.144	0.137	0.054	0.159
<b>Febrero</b>	0.0555	0.127	0.228	<b>0.254</b>	0.1865
<b>Marzo</b>	0.178	0.0865	0.153	0.2055	0.144
<b>Abril</b>	0.137	0.1515	0.1765	0.0835	0.175
<b>Mayo</b>	0.1955	0.1335	0.064	0.0585	0.1125
<b>Junio</b>	0.127	<b>0.228</b>	<b>0.254</b>	0.17	0.196
<b>Julio</b>	<b>0.054</b>	0.159	0.0555	0.1245	<b>0.225</b>
<b>Agosto</b>	0.1065	<b>0.046</b>	0.0905	0.134	<b>0.0795</b>
<b>Septiembre</b>	0.0665	0.1015	<b>0.055</b>	<b>0.0445</b>	0.149
<b>Octubre</b>	0.0765	0.0925	0.153	0.067	0.1335
<b>Noviembre 2012</b>	0.153	0.2055	0.144	0.137	0.1515
<b>Diciembre 2012</b>	0.153	0.1335	0.067	0.1335	0.175

LMP= límite máximo permitido LMP 0.006 mg/L (CECA, 1989).

En comparación con el límite máximo permitido establecido por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989), las concentraciones reportadas en cada uno de los sitios establecidos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco en todos los meses del año sobrepasan los límites establecidos.

La concentración de Plomo presente en el agua de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, presentó una mayor concentración en la temporada de nortes un valor promedio máximo de 4.96 mg/L para Martínez, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de secas con un valor promedio de 0.83 mg/L en Camacho. Los valores registrados en las temporadas de nortes y lluvias sobrepasan los límites máximos permitidos por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989) (Figura 22).



**Figura 22.** Concentración promedio de Pb mg/L en agua de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



### **6.4.2 Cadmio (Cd)**

El Cd en agua de la Laguna de Tampamachoco presentó una concentración máxima de 0.15 mg/L para mayo y una concentración mínima de 0.0005 mg/L para agosto en Martínez. Mientras que para Camacho se presentó una concentración máxima de 0.07 mg/L y una concentración mínima de 0.002 mg/L para el mes de julio. En Pipiloya la concentración máxima se presentó en enero con 0.0885 mg/L y una concentración mínima de 0.04 mg/L para el mes de abril. En Oro Negro se presentó una concentración máxima en febrero de 0.20 mg/L y una concentración mínima de 0.01 mg/L en diciembre. Finalmente para Punta Potreros una concentración máxima de 0.17 mg/L en febrero y una concentración mínima de 0.01 mg/L en el mes de mayo (Cuadro 21).

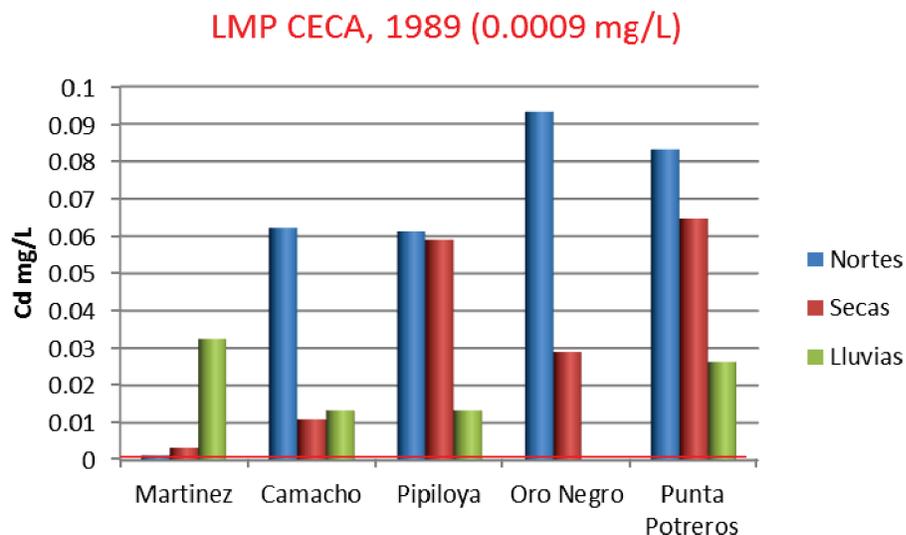
**Cuadro 21.** Concentración promedio mensual de Cd mg/L en agua.

<b>Cd mg/L</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloya</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	ND	<b>0.078</b>	<b>0.0885</b>	0.0725	0.0785
<b>Febrero</b>	0.0055	0.0775	0.084	<b>0.20</b>	<b>0.1705</b>
<b>Marzo</b>	ND	0.022	0.0715	ND	0.076
<b>Abril</b>	0.0065	ND	<b>0.0465</b>	0.058	0.0535
<b>Mayo</b>	<b>0.151</b>	ND	ND	ND	<b>0.0145</b>
<b>Junio</b>	0.0195	0.0775	0.0795	ND	0.0555
<b>Julio</b>	0.0045	<b>0.002</b>	ND	ND	0.0875
<b>Agosto</b>	<b>0.0005</b>	ND	ND	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	0.0195	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	ND	0.085	0.0725	0.085	0.084
<b>Diciembre 2012</b>	ND	0.0085	ND	<b>0.016</b>	ND

LMP= límite máximo permitido LMP 0.0009 mg/L (CECA, 1989).

Las concentraciones reportadas en los sitios establecidos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco exceden el límite máximo permitido establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989). Para el mes de agosto en Martínez la concentración reportada se encuentra por debajo del LMP.

En cuanto a la concentración de Cadmio presente en el agua de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de nortes con un valor promedio de 0.09 mg/L para Oro Negro, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de nortes con un valor promedio de 0.001 mg/L en Martínez. Los valores registrados en las temporadas de nortes y lluvias sobrepasan los límites máximos permitidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989) (Figura 23).



**Figura 23.** Concentración promedio de Cd mg/L en agua de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



### **6.4.3 Cromo (Cr)**

El Cr presentó una concentración máxima de 0.05 mg/L para el mes de julio y una concentración mínima de 0.026 mg/L para mayo en Martínez. Mientras que para Camacho se presentó concentración máxima de 0.03 mg/L en mayo y una concentración mínima de 0.01 mg/L para el mes de julio. En Pipiloya la concentración máxima se presentó en junio con 0.03 mg/L y una concentración mínima de 0.01 mg/L para el mes de julio. En Oro Negro se presentó una concentración máxima en junio de 0.04 mg/L y una concentración mínima de 0.02 mg/L en julio. Finalmente para Punta Potreros una concentración máxima de 0.03 mg/L en mayo y una concentración mínima de 0.03 mg/L en el mes de junio (Cuadro 22).

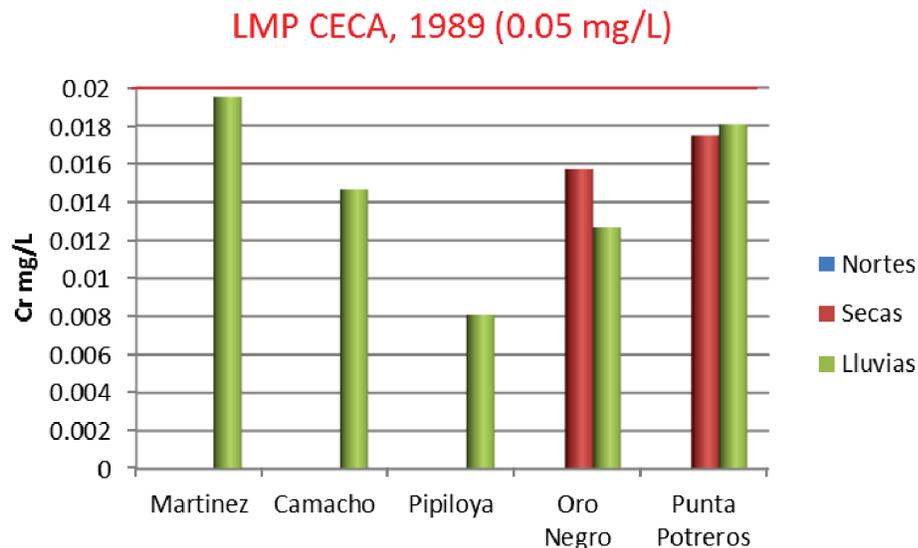
**Cuadro 22.** Concentración promedio mensual de Cr mg/L en agua.

Cr mg/L	Martínez	Camacho	Pipiloya	Oro Negro	Punta Potreros
<b>Enero</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Febrero</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Marzo</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Abril</b>	ND	ND	ND	0.0315	0.035
<b>Mayo</b>	<b>0.026</b>	<b>0.0355</b>	ND	ND	<b>0.039</b>
<b>Junio</b>	0.04	0.035	<b>0.0375</b>	<b>0.0465</b>	<b>0.0335</b>
<b>Julio</b>	<b>0.051</b>	<b>0.0175</b>	<b>0.011</b>	<b>0.0295</b>	0.036
<b>Agosto</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Diciembre 2012</b>	ND	ND	ND	ND	ND

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

Las concentraciones reportadas en los sitios establecidos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco en los meses del año no exceden el límite máximo permitido establecido por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989), solo la concentración reportada para el mes de julio en Martínez sobrepasa ligeramente el del límite máximo permitido.

La concentración de Cadmio en el agua de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, presentó una mayor concentración en la temporada de lluvias con un valor promedio de 0.01 mg/L para Martínez, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de nortes con un valor promedio de 0.008 mg/L en Pipiloya. De manera que los valores registrados en todas las temporadas del año no exceden los LMP establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989) (Figura 24).



**Figura 11.** Concentración promedio de Cr mg/L en agua de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



#### **6.4.4 Cobre (Cu)**

En la determinación de Cu en el agua de la Laguna de Tampamachoco se presentó una concentración máxima de 0.11 mg/L en el mes de abril y una concentración mínima de 0.01 mg/L en el mes de noviembre en Martínez. Mientras que para Camacho se presentó una concentración máxima de 0.15 mg/L en abril y una concentración mínima de 0.02 mg/L para el mes de diciembre. En Pipiloja la concentración máxima se presentó en noviembre con 0.48 mg/L y en el mes de diciembre una concentración mínima de 0.01 mg/L. En Oro Negro se presentó una concentración máxima en noviembre de 0.15 mg/L y una concentración mínima de 0.02 mg/L en diciembre. Finalmente para Punta Potreros una concentración máxima de 0.17 mg/L en abril y una concentración mínima de 0.02 mg/L en el mes de diciembre (Cuadro 23).

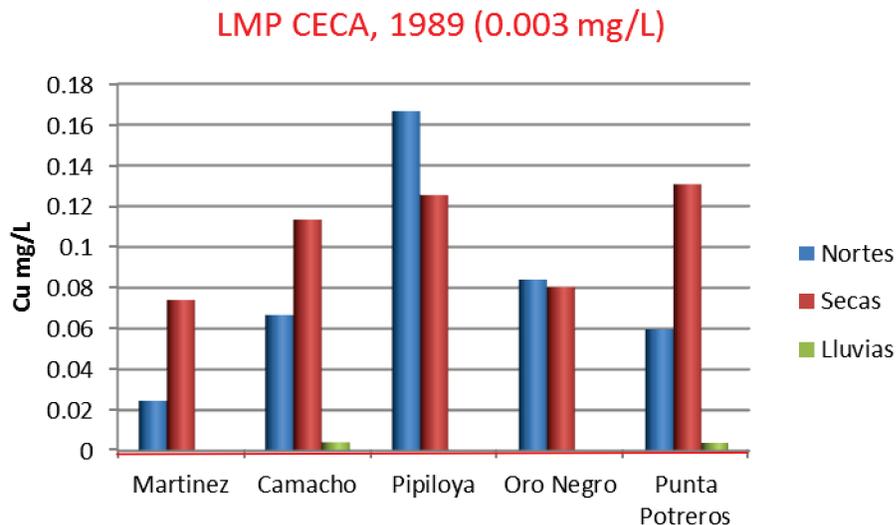
**Cuadro 23.** Concentración promedio mensual de Cu mg/L en agua.

<b>Cu mg/L</b>	<b>Martínez</b>	<b>Camacho</b>	<b>Pipiloja</b>	<b>Oro Negro</b>	<b>Punta Potreros</b>
<b>Enero</b>	0.0335	0.088	0.073	0.087	0.073
<b>Febrero</b>	0.0255	0.074	0.0845	0.0665	0.059
<b>Marzo</b>	0.0295	0.0755	0.0745	0.0775	0.0865
<b>Abril</b>	<b>0.1185</b>	<b>0.1515</b>	0.1765	0.0835	<b>0.175</b>
<b>Mayo</b>	ND	0.0255	ND	ND	0.0235
<b>Junio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Julio</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Agosto</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Septiembre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Octubre</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Noviembre 2012</b>	<b>0.017</b>	0.0765	<b>0.4895</b>	<b>0.156</b>	0.0845
<b>Diciembre 2012</b>	0.0225	<b>0.0285</b>	<b>0.0195</b>	<b>0.0265</b>	<b>0.022</b>

LMP= límite máximo permitido LMP 0.003 mg/L (CECA, 1989).

De acuerdo al límite máximo permitido establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989), los valores reportados en los sitios establecidos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco sobrepasan los límites establecidos.

En cuanto a la concentración de Cobre presente en el agua de la Laguna de Tampamachoco en las diferentes temporadas climáticas, la mayor concentración se presentó en la temporada de nortes con un valor promedio de 0.16 mg/L para Pipiloya, mientras que la menor concentración se presentó en la temporada de nortes con un valor promedio de 0.003mg/L en Punta Potrerros. Los valores registrados en las temporadas climáticas exceden los límites máximos permitidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA, 1989), solo para Martínez en la temporada de nortes la concentración se encuentra por debajo del límite (Figura 25).



**Figura 25.** Concentración promedio de Cu mg/L en agua de la Laguna de Tampamachoco por temporadas climáticas.



### **6.4.5 Análisis Estadístico de Metales pesados en agua**

#### **Análisis de Kruskal Wallis**

De acuerdo al análisis de los datos obtenidos en agua de la Laguna de Tampamachoco, se mostró un comportamiento homogéneo con: Plomo (KW,  $p = 0.38$ ), Cadmio (KW,  $p = 0.54$ ), Cromo (KW,  $p = 0.89$ ) y Cobre (KW,  $p = 0.89$ ). De acuerdo a los valores se encontraron diferencias no significativas respecto a los sitios de muestreo.

Sin embargo, en los datos de agua de la laguna de Tampamachoco, se mostró un comportamiento homogéneo para los metales estudiados: Plomo (KW,  $p = 0.04$ ), Cadmio (KW,  $p = 0.001$ ), Cromo (KW,  $p = 0.002$ ) y Cobre (KW,  $p = 2.16^{-11}$ ) encontrando diferencias estadísticamente significativas con relación a las temporadas climáticas.



## Análisis de Correlación de Spearman

El análisis de correlación Spearman para metales pesados en agua mostró relación directa entre el Plomo (PBA) y la conductividad eléctrica (CON) ( $\rho = 0.27$ ,  $p = 0.03$ ), salinidad ( $\rho = 0.26$ ,  $p = 0.04$ ) y pH ( $\rho = 0.32$ ,  $p = 0.01$ ). El Cadmio (CDA) y la conductividad eléctrica ( $\rho = 0.31$ ,  $p = 0.01$ ) y pH ( $\rho = 0.27$ ,  $p = 0.03$ ). Finalmente en la relación de Cobre (CUA) y pH se mostró una relación directa ( $\rho = 0.26$ ,  $p = 0.04$ ) (Cuadro 24).

**Cuadro 24.** Análisis de correlación de Spearman para metales en agua.

	TEM	CON	SAL	PH	OXI	PBA	CDA	CRA	CUA
TEM	1.000								
CON	.063	1.000							
SAL	-.231	.892	1.000						
PH	-.145	.501	.423	1.000					
OXI	-.277	.271	.309	.169	1.000				
PBA	-.222	<b>.271*</b>	<b>.262*</b>	<b>.326*</b>	.443	1.000			
CDA	-.368	<b>.317*</b>	.364	<b>.273*</b>	.414	.457	1.000		
CRA	.482	.371	.166	.104	.174	.169	.099	1.000	
CUA	-.790	.171	.391	<b>.263*</b>	.201	.287	.506	-.281	1.000

\*Significancia 0.05

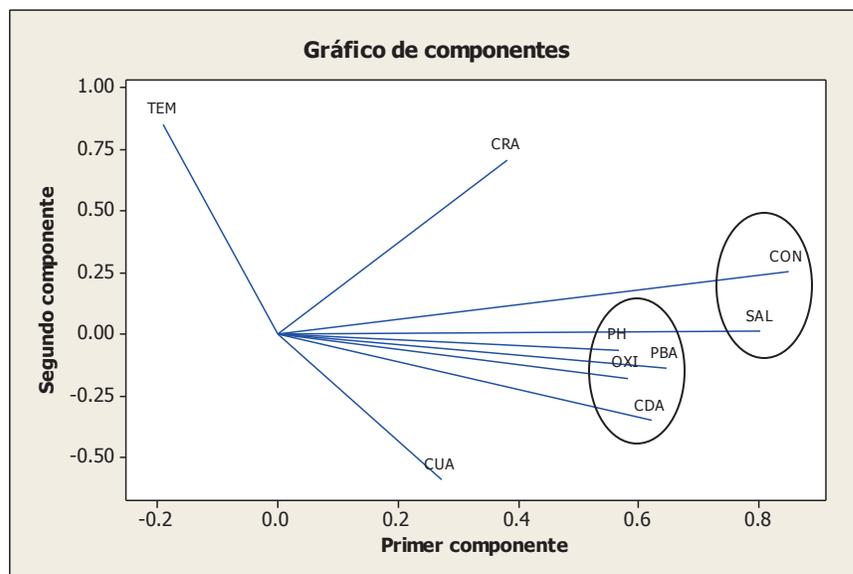
## Análisis de componentes principales en agua

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales, la variabilidad es explicada en los dos primeros componentes en un 54.59% de la variabilidad total de los datos originales; CP1 34.92% y CP2 19.67% (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Porcentaje de la variación acumulada en los dos primeros componentes.

	CP1	CP2
<b>Eigenvalores</b>	3.08	1.82
<b>Porcentaje</b>	34.92	19.67
<b>Acumulado</b>	34.92	54.59

En la combinación del primer y segundo componente, la muestra es separada en dos asociaciones; la primera agrupación corresponde a las muestras (SAL y CON) y la segunda asociación (PH, OXI, CDA Y PBA) (Figura 26).



**Figura 26.** Agrupaciones entre variables.



El primer componente está representado por la correlación que mantienen las variables 2 (conductividad), 3 (salinidad), 4 (pH), 5 (oxígeno), 6 (Plomo en agua) y 7 (Cadmio en agua). El segundo componente está determinado por las correlaciones entre las variables 1 (Temperatura) y 8 (Cromo en agua) (Cuadro 26).

**Cuadro 26.** Coeficiente de cada variable en los primeros dos componentes principales.

	CP1	CP2
1	-0.020	0.465
2	0.292	0.183
3	0.264	0.046
4	0.183	-0.007
5	0.182	-0.070
6	0.206	-0.045
7	0.187	-0.163
8	0.161	0.413
9	0.060	-0.314



## VII. DISCUSIÓN

Los metales pesados se encuentran en el ambiente de forma natural. Sin embargo, éstos pueden convertirse en contaminantes si su concentración en el ambiente es alterado por actividades antropogénicas. Desafortunadamente no existe una definición clara para identificar a los metales pesados; es por ello que se les conoce como elementos asociados a una contaminación o toxicidad potencial (Duffus, 2002).

Existen estudios que muestran sus efectos adversos en la salud humana; así como el daño ocasionado a los ecosistemas (Diawara *et al.*, 2006; Vardanyan e Ingole, 2006). En este contexto el análisis de los niveles de metales pesados en ambientes acuáticos ha ganado mayor relevancia a nivel mundial.

La determinación de los parámetros fisicoquímicos de campo en aguas costeras como el pH, temperatura, oxígeno disuelto, es pertinente porque estos parámetros pueden modificar la influencia química y tóxica de los metales pesados en la vida acuática y consecuentemente actúan como indicadores de la existencia de agua contaminada (Ochieng *et al.*, 2006).

López-Ortega (2012) reportó en un estudio realizado en la Laguna de Tampamachoco, temperaturas máximas de hasta 31.54 °C en la época de lluvias y mínimas de 16.92 °C en la época de nortes. De manera similar, los valores de temperatura en el presente estudio oscilaron entre 31.83 °C máximo y mínimo de 18.68 °C para las temporadas de lluvias y nortes respectivamente.



La conductividad eléctrica reportada en la presente investigación presentó valores mínimos de 25.2 mS/cm y lecturas máximas de hasta 61.8 mS/cm, siendo ambos valores reportados para la temporada de lluvias, en tanto que los valores reportados por López – Ortega (2012), oscilaron entre 1.9 mS/cm correspondiente a la época de lluvias y 53.9 mS/cm correspondiente a la temporadas de secas.

Mendoza (2010) reporta valores mínimos de salinidad de 5.45 UPS para la temporada de lluvias y máximos de 35.48 UPS en la temporada de secas. Los valores reportados en el presente estudio fueron de 14.88 UPS en el mes de julio correspondiente a la temporada de lluvias, así mismo el valor máximo se presentó en junio con 36.5 UPS. Contreras Espinosa *et al.* (2006) establecen que el grado de salinidad en la mayoría de las lagunas costeras se encuentra dentro de un intervalo de 10 y 30 UPS, lo que indica una dominancia de aguas de meso a polihalinas.

Pacheco y Chirino (2004) reportan valores de pH de entre 6.52 para la temporada de lluvias y 9.01 en la temporada de secas para la Laguna de Tampamachoco. Mientras que los valores de pH reportados en el presente estudio, oscilaron entre 7.28 unidades de pH para la temporada de lluvias y 8.86 para la temporada de secas. El pH de un cuerpo de agua es un parámetro a considerar cuando queremos determinar la especiación química y la solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en agua. Por lo que la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, lo que permite la adición a la materia orgánica presente en el medio.



En un estudio realizado por Lara-Domínguez *et al.* (2010) en lagunas costeras y estuarios en el Golfo de México, reportó valores de 3.0 mg/L y 7.0 mg/L de oxígeno disuelto, concluyendo que la concentración de oxígeno disuelto es tan importante para la vida acuática como lo es para la vida terrestre. Los valores reportados de oxígeno disuelto para este estudio oscilaron entre 3.49 mg/L y 7.15 mg/L. Indicando se encuentran dentro de los rangos para la subsistencia de la vida acuática. El contenido de oxígeno en estos ecosistemas esta generalmente relacionado con los procesos de descomposición de la materia orgánica.

Páez-Osuna (2005) menciona que los metales se presentan en diferentes formas en el ambiente acuático. Los principales reservorios abióticos de los metales son: la columna de agua, los sedimentos suspendidos y depositados y el agua intersticial. Balakrishnan-Nair *et al.* (1987) establecen que son importantes las investigaciones acerca de la distribución de estos elementos en el agua, sedimento y en la biota, debido a que muchos de ellos son persistentes e incluso tóxicos aun a bajas concentraciones

En cuanto a los resultados obtenidos en el análisis de la concentración de metales pesados en tejidos de jaiba azul, sedimentos y agua de la Laguna de Tampamachoco podemos mencionar lo siguiente:

### **Plomo**

En el análisis de la concentración de Plomo en tejidos de *Callinectes sapidus* se reportan valores de 0.3 mg/kg hasta 36.25 mg/kg en tejido blando y de 0.3 mg/kg



hasta 37.3 mg/kg en branquias. Castañeda (1987) reporta valores de Plomo en tejido de *Callinectes sapidus* para la Laguna de Tamiahua de  $2.6^{-04}$  mg/kg hasta 0.017 mg/kg. Los valores reportados en la presente investigación se encuentran por encima del límite máximo permitido establecido por la NOM-029-SSA1-1993 de 1 mg/kg.

Estudios realizados por Mendoza (2010) y Godínez (2012) en el que determinaron la concentración de Plomo en *Farfantepeneaus aztecus* y *Neritina reclivata* respectivamente, no detectaron la presencia del metal para la Laguna de Tampamachoco.

En la determinación de Plomo en sedimentos de la Laguna de Tampamachoco los valores obtenidos oscilaron entre 0.3 mg/kg (noviembre 2012) y 60.52 mg/kg (junio de 2013). Cabe mencionar que las lecturas más altas para la laguna de Tampamachoco se encuentran en junio para cada uno de los sitios de muestreo, además que coincide con el inicio de la temporada de lluvias de la zona. Los valores máximos encontrados sobrepasan los reportados por López – Jiménez (2012) de 1.20 mg/kg hasta 25.17 mg/kg.

García (2006) reporta concentraciones de 0.012 mg/kg en la temporada de nortes y 0.045 mg/kg para la Laguna de Pueblo Viejo en Veracruz. En dicho estudio las concentraciones más altas se presentaron en la época de secas.

Las concentraciones reportadas de Plomo en agua oscilaron entre 0.046 mg/L y 0.25 mg/L. De acuerdo a la distribución de los sitios de muestreo las menores



concentraciones se presentaron en Martínez en comparación con Punta Potrerros, siendo este último el que se encuentra cercano a la zona de convergencia con el río Tuxpan.

Los valores encontrados superan los reportados por López-Ortega (2012) donde las concentraciones de Plomo en agua fueron inferiores a 0.02 mg/L. García (2005) para la Laguna de Mandinga reporta valores de 3.29 mg/L. Hernández (1994) menciona que altos valores de concentración de Plomo pueden indicar la presencia de desechos industriales y desechos domésticos.

### **Cadmio**

Con base a los resultados obtenidos en el análisis de la concentración de Cadmio en tejidos de jaiba azul, las mayores concentraciones se presentaron en tejido blando de jaiba con lecturas de 0.025 mg/kg a 8.975 mg/kg en comparación con las branquias donde se presentaron las menores concentraciones 0.025 mg/kg a 1.45 mg/kg. Castañeda (1987) para *Callinectes sapidus* en la Laguna de Tamiahua reporta valores de 0.004 mg/kg a 0.007 mg/kg. Para la Laguna de Tampamachoco, Mendoza (2010) reporta valores de Cadmio que van de 1.17 mg/kg a 1.55 mg/kg. Frías-Espericueta *et al.* (2011) reporta para *Litopenaeus vannamei* concentraciones desde  $4.4^{-04}$  mg/kg a  $4.06^{-03}$  mg/kg.

En la determinación de Cadmio en sedimentos los valores oscilaron entre 0.025 mg/kg y 7.475 mg/kg. López-Jiménez (2012) no detectó la presencia de Cadmio para la Laguna de Tampamachoco, lo que puede ser atribuido al arrastre de



sedimentos por el río y los aportes de agua marina a la zona. García (2005) no detectó la presencia de Cadmio en sedimentos de la Laguna de Mandinga. Mendoza-Reynosa (2010) reporta valores de 0.011 mg/kg para la Laguna de Tampamachoco.

En cuanto a las concentraciones de Cadmio en agua, los valores registrados en el presente estudio se encuentran por encima del límite máximo permitido (0.0009 mg/L) establecido por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para aguas costeras. López-Ortega (2012) para la Laguna de Tampamachoco, reporta valores entre 0.0018 mg/L y 0.035 mg/L. Algunos de los valores registrados en el presente estudio superan los reportados por López-Ortega (2012). Al igual que en Mendoza-Reynosa (2010) quien reporta para la Laguna de Tampamachoco valores de Cadmio de 0.015 mg/L.

### **Cromo**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de Cromo en tejidos de jaiba azul; para tejido blando fueron registradas concentraciones de 0.2 mg/kg y 13.02 mg/kg. Mientras que para branquias los valores oscilaron entre 0.05 mg/kg y 1.22 mg/kg. Mendoza (2010) reporta valores de 1.52 mg/kg para *Farfantepenaeus aztecus*. Dentro de la normatividad mexicana aún no se ha establecido un límite máximo de Cromo dentro de los crustáceos, por lo que se tomó como referencia el límite máximo permitido establecido por la FDA (1993) de 12 mg/kg.



Godínez (2012) reporta para *Neritina reclinata* en la Laguna de Tampamachoco valores entre 1.17 mg/kg y 3.52 mg/kg. García (2005) para la Laguna de Mandinga reporta valores de 2.39 mg/kg en *Crassostrea virginica*.

Los valores de Cromo en sedimentos del presente estudio oscilaron entre 2.5 mg/kg y 13.9 mg/kg. López-Jiménez (2012) reportó valores de 2.40 mg/kg a 3.88 mg/kg para sedimentos de la Laguna de Tampamachoco. Los valores reportados en el presente estudio superan los reportados por López-Jiménez (2012). García (2005) reporta para la Laguna de Mandinga valores de 1.33 mg/kg a 3.08 mg/kg.

En la determinación de Cromo en agua los valores registrados oscilaron entre 0.011 mg/L y 0.051 mg/L. De acuerdo al límite máximo permitido establecido por los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua (1989) la lectura máxima en el presente estudio supera ligeramente el límite permitido de 0.05 mg/L. En contraste con los valores reportados por López- Ortega (2012) con lecturas entre 0.025 y 0.97 mg/L, donde los valores máximos superaban el límite permitido.

## **Cobre**

En relación a la concentración de Cobre en tejidos de jaiba los valores registrados para tejido blando oscilaron entre 23.8 mg/kg y 84 mg/kg. En este caso, las lecturas máximas reportadas para cada uno de los sitios establecidos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco se encuentran por encima del límite máximo permitido establecido por la FAO (1983) de 32.5 mg/kg.



De igual manera, las lecturas registradas para Cobre en branquias de jaiba oscilaron entre 78.92 mg/kg y 155.87 mg/kg. En este caso, los valores superan lo establecido por la FAO (1983). Mendoza (2010) reporta una concentración de 18.62 mg/kg para *F. aztecus* para la Laguna de Tampamachoco. Frías-Espericueta *et al.* (2011) reporta valores de cromo en *Litopenaeus vannamei* de 0.016 mg/kg en lagunas costeras de Sinaloa.

En la determinación de cobre en sedimentos López – Jiménez (2012) reporta valores de 1.32 mg/kg a 8.92 mg/kg. En comparación con los reportados en el presente estudio en el que los valores oscilaron entre 0.42 mg/kg y 9.47 mg/kg. García (2006) reporta para la Laguna de Pueblo Viejo concentraciones que oscilan entre 10.56 mg/kg y 70.63 mg/kg.

En el análisis de Cobre en agua los valores se encontraron entre 0.017 mg/L y 0.489 mg/L. En contraste, los resultados obtenidos superan los valores reportados por López-Ortega (2012) con concentraciones desde 0.001 mg/L a 0.23 mg/L.

La determinación de los niveles potencialmente tóxicos de los metales en el medio acuático, puede resultar difícil de evaluar dado que las concentraciones naturales de estos elementos en aguas no contaminadas son variables y poco conocidas.

En concentraciones suficientemente altas, los metales son tóxicos en organismos vivos, por lo que es importante conocer las concentraciones y los límites que pueden estar presentes en el medio.



En cuanto a la normatividad establecida por la legislación mexicana existe un gran problema, ya que los niveles establecidos son rebasados, no existen o no hay referencias actualizadas en cuanto a límites máximos permitidos; por lo que se recurre a referencias internacionales.

Dentro de los resultados obtenidos en el análisis de Plomo y Cadmio, en tejidos de *Callinectes sapidus*, se presentaron concentraciones superiores de acuerdo a lo establecido por la normatividad mexicana, por lo que es riesgosa la ingesta de este recurso debido a que los metales, aun a bajas concentraciones causan efectos adversos a la salud.



## VIII. CONCLUSIONES

La temperatura de la Laguna de Tampamachoco a lo largo de los 12 meses de muestreo presentó valores que van desde 18.68 °C a 31.86 °C. La temperatura del agua en cada uno de los sitios establecidos está relacionada con los cambios estacionales.

Las concentraciones de conductividad eléctrica reportadas son proporcionales a los valores de salinidad reportados para la Laguna de Tampamachoco.

Las lecturas de pH van desde 7.09 a 9.42 unidades de pH, los valores con respecto a los 12 meses de muestreo se mantuvieron relativamente estables en cada uno de los sitios establecidos.

Los valores de oxígeno disuelto van desde 3.49 mg/L a 7.15 mg/L. Los valores reportados fueron homogéneos en cada uno de los sitios establecidos.

Las concentraciones máximas de Plomo reportado para tejido blando y branquias superan los límites establecidos por la normatividad aplicable. En sedimentos en algunos meses no fue detectada la presencia de Plomo, sin embargo los valores reportados oscilan entre 0.3 mg/kg a 60.52 mg/kg. En cuanto al Plomo presente en agua, los valores reportados estuvieron por encima del límite máximo permitido que es 0.006 mg/L.

Parámetros como Conductividad eléctrica, salinidad y pH están relacionados con la disponibilidad de Plomo en agua de la Laguna de Tampamachoco.



El Cadmio no fue detectado en la época de secas para tejido blando, mientras que en branquias los valores máximos sobrepasan lo establecido por la normatividad aplicable. En sedimentos, en algunos meses el Cadmio no fue detectado, sin embargo las lecturas reportadas se encuentran por encima de una concentración de 1 mg/kg. Los valores registrados para agua, superaron el límite máximo permitido de 0.0009 mg/L.

Parámetros fisicoquímicos como la salinidad, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto se relacionan con la disponibilidad de Cadmio en tejidos de jaiba azul, sedimentos y agua de la Laguna de Tampamachoco.

En relación a la concentración de Cromo, las concentraciones reportadas en tejido blando y branquias se encuentran por debajo del límite máximo permitido de 12 mg/kg por la normatividad aplicable. En sedimentos los valores oscilaron entre 2.5 mg/kg a 13.9 mg/kg. En agua los valores reportados no superan el límite máximo permitido de 0.05 mg/L.

El pH y oxígeno disuelto presentan cierta relación con la disponibilidad de cromo en branquias y sedimentos de la Laguna de Tampamachoco.

En relación al Cobre para tejido blando los valores registrados oscilaron entre 23.8 mg/kg y 84.27 mg/kg. En branquias los valores oscilaron entre 78.92 mg/kg y 155.87 mg/kg, los valores superan el límite máximo permitido para este metal de 32.5 mg/kg. En sedimentos los valores oscilaron entre 0.42 mg/kg a 9.47 mg/kg. En cuanto al agua los valores se presentaron entre 0.01 a 0.48 mg/L.



El pH presentó una mayor relación con la disponibilidad de Cobre tanto en tejidos de jaiba como en sedimentos y agua.



## IX. APLICACIONES

En años recientes la Laguna de Tampamachoco ha sido objeto de estudio en cuanto a las concentraciones de metales pesados tanto en la biota como en sedimentos y agua, además de contar con datos actualizados de la situación de estos contaminantes en el medio acuático.

Para la Laguna de Tampamachoco, *Callinectes sapidus* representa no solo una especie de interés comercial, tanto para el consumo local como para la producción generada en el Golfo de México. En algunos casos la demanda del recurso puede forzar a las especies a una maduración temprana para la subsistencia de la especie, por lo que, no se pretende cesar la actividad económica de la laguna, sino generar un manejo y control adecuado de la misma para una explotación sustentable.

Tomando como base los resultados de las concentraciones reportadas y contrastándolas con los límites máximos permitidos establecidos por la normatividad aplicable, además, es necesaria la formulación de una nueva normatividad donde se especifiquen los límites permitidos en este organismo.

Para México, aún no se cuenta con una normatividad para regular la disposición de metales pesados en sedimentos, por lo que se recurre a referencias internacionales.

El análisis de metales pesados en la presente investigación mostró la presencia de metales con una alta toxicidad para el ser humano, por lo que estos resultados



pueden ser tomados como punto de partida para futuras investigaciones para determinar las principales fuentes de contaminación de metales pesados y otros contaminantes, para de esta manera establecer estrategias para el manejo de residuos peligrosos.

Además, es necesaria la implementación de un monitoreo continuo de la Laguna tomando en cuenta la biota, sedimentos y agua, al igual que las conexiones fluviales y aportes de agua hacia la Laguna de Tampamachoco, con la finalidad de crear una línea formal de investigación y establecer una base de datos que permita a las autoridades competentes la gestión a corto, mediano y largo plazo ante cualquier contingencia ambiental que se pudiese suscitar.



## X. BIBLIOGRAFÍA

Albert, L. 1999. Curso Básico de toxicología ambiental. Noriega editores. México.  
310 p.

Ambrosetti, W., J. Barbanti, and N. Sala. 2003. Residence time and physical processes in lakes. *J. Limnol.* 62(1):1-15.

Ansari, T. M., I. L. Marr and N. Tariq. 2004. Heavy metals in marine pollution perspective-a mini review. *J. Appl. Sci.* 4(1):1-20.

Aranda-Cirerol, N. 2001. Alimentando al mundo, envenenando al planeta: eutrofización y calidad del agua. *Avance y perspectiva* 20:293-303.

Balakrishnan-Nair, N., P. K. Abdul-Asis, H. Suryanarayanan, M. Arunachalam, K. Krishnakumar and T. V. Fernandez, 1987. Distribution of heavy metals in the sediments of the Ashtamudi Estuary, S. W. Coast of India. *Contributions in Marine Sciences.*

Bordon, I. C. A. C, J. E. S. Sarkis, A. R. G. Tomas, A. Scalco, M. Lima, M. A. Hortellani, N. P. Andrade. 2011. Assessment of Metal Concentrations in Muscles of the Blue Crab, *Callinectes danae* S., from the Santos



Estuarine System. IPEN-Nuclear and Energy Research Institute, Chemical and Environmental Technology. Sao Paulo, Brazil.

Botello, A. V., S. Villanueva y F. Páez-Osuna, 1998. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Rio Coatzacoalcos y de la laguna del Ostión, Ver., México. Contam. Ambient. 4:19-31.

Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra, 2004. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Secretaria de 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.

Castañeda, L. O. y Contreras, E. F. 2001. Serie: Bibliográfica comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos 2001. Centro de Documentación Ecosistemas Litorales Mexicanos. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, División C. B. S. Depto. de Hidrología. Publicación electrónica. México, D. F.

Castañeda, A. T. N. 1987. Concentraciones de Plomo, Cromo y Cadmio en agua, sedimentos y en los tejidos totales de dos especies del género *Callinectes*, de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Universidad Autónoma Metropolitana. México, Distrito Federal.

Cervantes, C. y R. Moreno, S. 1999. Contaminación ambiental por metales pesados, impacto en los seres vivos. AGT, S. A., México. 298 p.



Clark, R. B. 2001. Marine pollution. Ed. Oxford sexta edición 224 p.

Contreras Espinosa, E.F., O. Castañeda y N. Rivera-Guzmán, 2006, “La Laguna”,  
*In:* P. Moreno-Casasola (ed.), Entornos Veracruzanos: la costa de La  
Mancha, Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México, 576 pp.

Contreras, F., O. Castañeda, E. y M.A. Pérez. 2002. Caracterización e importancia  
de las lagunas costeras. La pesca en Veracruz y sus perspectivas de  
desarrollo, (Instituto Nacional de la Pesca y Universidad Veracruzana,  
eds.), SAGARPA, 31- 43.

De la Lanza, E. G., S. Hernández P y J. L. Carbajal P. 2000. Organismos  
indicadores de la calidad del agua y de la contaminación  
(bioindicadores).

Diawara, M., J. S. Litt, D. Unis, N. Alfonso, L. Martinez and J. G. Crock. 2006.  
Arsenic, cadmium, lead and mercury in surface soils, Pueblo, Colorado:  
Implications for population health risk. Environmental Geochemistry and  
Health. 28:297-315.

Duffus, J. H. 2002. Heavy metals a meaningless term. Pure Appl. Chem. 74(5):  
793-807.



FAO. (Organización para la Agricultura y la alimentación). 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products FIRI/C764, Rome, FAO Fisheries Circular No. 764:10-100.

FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos de E.U.A.), 1993. Guidance documents for trace elements in seafood. Guidance documents for arsenic, cadmium, chromium, nickel (January), lead (August).

Fisher, N. S and S. E. Hook. 2002. Toxicology tests with aquatic animals need consider the trophic transfer of metals. *Toxicology* 181/182: 531-536.

Förstner V. and G.T.W. Wittmann. 1983. Metal pollution in the aquatic environment. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica* 18(2): 194.

Frías-Espericueta M. G., M. Aguilar-Juárez, I. Osuna-López, S. Abad-Rosales, G. Izaguirre-Fierro y D. Voltolina. 2011. Los metales y la camaronicultura en México. *Hidrobiológica* 21(3): 217-228.

García, G. C. 2005. Estudio de metales tóxicos en el Sistema Lagunar Mandinga Veracruz. Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. D.F. México.



García, N. J. 2006. Metales pesados en sedimentos en tres lagunas costeras del Sur de Tamaulipas y Norte de Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira. Tamaulipas México.

Godínez, C. O. 2012. Metales pesados en *Neritina reclinata* Say, 1822 (Mollusca: Gastropoda) en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan. Veracruz. México.

Goldaracena, I. C. G. 2007. Metales pesados en organismos acuáticos en dos lagunas costeras del Sur de Tamaulipas y Norte de Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Altamira, Tamaulipas.

Goldberg, E. D. 1984. The mussel watch concept. La sirena. Noticias del programa de Naciones Unidas para el medio ambiente en los mares regionales. 23.

González, G. A. C. 1984. Ecología de las lagunas costeras de la región suroccidental de Cuba. Revista Investigaciones Marinas, 5:127 – 171.

Guzmán-Amaya, P., S. Villanueva F. y A. V. Botello. 2005. Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz, p. 361-372, *In*: A. V. Botello, J. Rendon-Von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y



Tendencias. 2da. Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Hernández, A. E. 1994. Determinación de metales en agua, sedimento y biota de la Laguna de Mandinga, Veracruz. México. Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. México, D. F.

Izquierdo, C., J. Usero and I. Gracia. 1997. Speciation of metals in sediments from salt marshes on the Southern Atlantic coast of Spain. *Mar. Poll. Bull.* 34 (2):123-128.

Knezovich, J. P. 1994. Chemical and biological factors affecting bioavailability of contaminants in seawater. 23 – 80 p.

Kumpf, H., K. A. Steidinger y K. Sherman. 1999. The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Blackwell Science Inc., Malden, Massachusetts: 704 p.

Lara-Domínguez, A. L., F. Contreras–Espinosa, O. Castañeda–López, E. Barba–Macías y M. A. Pérez-Hernández. 2010. Lagunas Costeras y Estuarios. *In:* Gobierno del Estado de Veracruz-CONABIO-Universidad Veracruzana-INECOL. (Eds). La Biodiversidad en Veracruz, Estudio del Estado. CONABIO. México. p 297-313.



López-Jiménez, M. A. 2012. Determinación de algunos metales pesados en *Mugil curema* Valenciennes, 1836 y sedimentos de Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopia de absorción atómica. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

López-Ortega, M. 2012. Determinación de metales pesados en *Eugerres plumieri* (Cuvier, 1830) y agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopia de absorción atómica. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Mandelli, E. R. 1979. Contaminación por metales pesados. Rev. Com. Perm. Pacifico Sur 10, 209 – 228.

Mendoza, D. F. 2010. Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

Mendoza-Reynosa, E. 2010. Evaluación de la salud de *Mugil curema* Valencianes, 1836 (Pisces: Mugilidae) de la Laguna de Tampamachoco y el río Tuxpan, Veracruz y su relación con factores ambientales. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México.



Millikin, M. R. and A. B. Williams. 1984. Synopsis of biological data on the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. Food and Agriculture Organization Fisheries Synopsis 138: 51-131.

Muñoz, C., L. Pardo, L. Henríquez and Á. Palma. 2006. Variaciones temporales en la composición y abundancia de cuatro especies de *Cancer* (Decapoda: Brachyura: Cancridae) capturadas con trampas en bahía San Vicente, Concepción (Chile central). Invest. Mar., Valparaíso, 34(2): 9-21.

Nauen, C. E. 1993. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Fisheries Circular No. 764, FIRI/C764, Roma, 42 p.

Neff, J. M. 2002. Bioaccumulation in marine organisms. Effect of contaminants from oil well produced water. Amsterdam: Elsevier 6<sup>th</sup> edition.

NOM, Norma Oficial Mexicana, 1993. NOM-029-SSA1-1993. Productos de la pesca. Crustáceos frescos–refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Secretaria de Salud.

Ochieng, E. Z., J. O. Lalah, S. O. Wandiga, 2006. Heavy Metals in Water and Surface Sediments in Winam Gulf of Lake Victoria, Kenya. Environmental Contamination and Toxicology 77: 459-468.



Pacheco, M. R. y A. Chirino G. 2004. Algunos aspectos biológicos y ecológicos de la corvina *Bairdiella chrysoura* (Pisces: Sciaenidae) como especie dominante del Sistema Lagunar Tampamachoco, Veracruz, en el periodo (mayo 1990 – junio 1991). Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. 159 p.

Páez, F y M. Frías. 2001. Bioacumulación, distribución y efectos de los metales pesados en los peneidos. *In*: Camaronicultura y medio ambiente. Unidad Académica Mazatlán. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Autónoma Metropolitana. Mazatlán, Sinaloa, México. 244-270 p.

Páez-Osuna, F. 2005. Fuentes de metales en la zona costera marina, p.329-342. En: Botello, A.V., J. Rendón – von Osten, G. Gold- Bouchot y C. Agraz–Hernández (Eds). Golfo de México Contaminación e Impacto ambiental: Diagnostico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Auton. de Campeche, Univ. Nal. Auton, de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Páez-Osuna, F., A. V. Botello y S. F. Villanueva. 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon Mexico. *Mar Pollut. Bull.* 17:516-519.

Pérez, M., G. Martínez, I. Fermin y F. Brito. 2007. Metales trazas en tejidos blandos de *Callinectes ornatus* procedentes de las lagunas costeras



Bocaripo y Chacopata (Península de Araya, Estado Sucre). Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, 46(2):175-187.

Ponce- Vélez, G. y Botello, A. V. 1991. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la Laguna de Términos Campeche. Hidrobiológica. 1(2): 1-10.

Prosi, F. (1981). Heavy metals in aquatic organisms. *In*: Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin 271-323.

Raz-Guzmán M, A. 2000. Crustáceos y poliquetos. *In*: Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores) De la Lanza, E. G., S. Hernández P y J. L. Carbajal P. 2000.

Rosas, I., A. Báez y R. Belmont, 1983. Oyster *Crasostrea virginica* as indicator of heavy metal pollution in some Lagoons of the Gulf of Mexico, Water, Air and Soil pollution, 20:127-135.

Sadiq, M. 1992. Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. Marcel Dekker, New York, 390 pp.

Segovia-Zavala, J., F. Delgadillo, A. Muñoz, E. Gutiérrez and R. Vidal. 2004. Cadmium and silver in *Mytilus californianus* transplanted to an



anthropogenic influenced and coastal upwelling areas in the Mexican Northeastern Pacific. Mar. Pollut. Bull., 48: 458-464.

Skoch, E. J and LaCognata. 1998. Recommended methods for digestion and analysis of heavy metals in tissues marine mammals. Research Lab., John Carroll University, Cleveland. Ohio.

Taissoun, E. 1973. Estudio comparativo, taxonómico y ecológico entre los cangrejos (Decapoda Brachyura Portunidae), *Callinectes maracaiboensis* (nueva especie), *C. bocourti* (Milne-Edwards) y *C. rathbunae* (Contreras) en el Golfo de Venezuela, Lago de Maracaibo y Golfo de México. Bol. Cent. Invest. Biol. 6. 77 p.

Türkmen, A., M. Türkmen, Y. Tepe, Y. Mazlum, S. Oymael. 2006. Metal Concentrations in Blue Crab (*Callinectes sapidus*) and Mullet (*Mugil cephalus*) in Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean, Turkey. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 77:186-193.

UNEP/GPA, 2006. Heavy metals introduction.

[http://www.chem.unep.ch/gpa\\_hm/intro0.htm](http://www.chem.unep.ch/gpa_hm/intro0.htm)

Vardanyan, L. G., B. S. Ingole. 2006. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. Environment International. 32: 208-218.



Vázquez, F., Aguilera, G., Delgado, D. y Marquez, A., 1990. Trace and Heavy metals in the Oyster *Crassostrea virginica*, San Andres Lagoon, Tamaulipas, Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 45:907-914.

Villanueva, F. S, A. V. Botello y F. Páez-Ozuna. 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Rio Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México. Contam. Ambiental. 4:19-31.

Wang, W. X. 2002. Interactions of trace metals and different marine food chains. Mar. Ecol. Prog. Ser. 243: 295-309.

Williams, A. B. 1974. The swimming crabs of the genus *Callinectes* (Decapoda: Portunidae). Fish. Bull. 72:685 – 798.

Wood, J.M. (1989) Transport, bioaccumulation and toxicity of elements in microorganisms under environmental stress. In Proc Int Conf Heavy Metals in the Environment, Geneve. P. Vernet (ed) CEP Consultants Ltd, Edingurgh, UK 1-12