



Universidad Veracruzana

**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

**Campus Tuxpan**

---

---

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**“Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb  
en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados  
en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz”**

**TESIS**

**Que para obtener el título de:**

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

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

**Biol. Fernando Mendoza Díaz**

**Directora:**

**M.C Ma. Alejandra López Jiménez**

**Asesora:**

**Mtra. Marisela López Ortega**



Universidad Veracruzana

**Tuxpan, Veracruz**

**2010**

La presente Tesis titulada: **Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados en la laguna de Tampamachoco, Veracruz**, realizada por el C. Biol. Fernando Mendoza Díaz, bajo la dirección y asesoría del consejo particular de la M.C. Ma. Alejandra López Jiménez y MTRA. Marisela López Ortega, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

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

**CONSEJO PARTICULAR:**

---

**M.C. Ma. Alejandra López Jiménez**  
Director

---

**MTRA. Marisela López Ortega**  
Asesora

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, Octubre 2010

La presente Tesis titulada: **Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados en la laguna de Tampamachoco, Veracruz**, realizada por el C. Biol. Fernando Mendoza Díaz, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

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

**COMISIÓN LECTORA:**

---

**Dr. William Scott Monks Sheets**  
Lector

---

**Dr. Pablo San Martín del Ángel**  
Lector

---

**Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera**  
Lector

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, Octubre 2010

## AGRADECIMIENTOS

Con mucho cariño y respeto quiero agradecer infinitamente a la **M. C. Ma. Alejandra López Jiménez** y la **Mtra. Marisela López Ortega**, por haber aceptado dirigir este trabajo y apoyarme económicamente con la realización del mismo. Que aunque estuvieron siempre ocupadas con su doctorado nunca dejaron de ponerle empeño a esta investigación. Estaré agradecidamente con ustedes por haberme ayudado a concluir otra gran etapa de mi vida. Mil gracias químicas.

Quiero dar mis más amenas gracias al **Mtro. Rogelio López López**, por el gran apoyo brindado al haberme instruido en la realización de los análisis de metales pesados, sin su ayuda este trabajo no hubiese podido llegar a su culminación. Muchas gracias maestro.

Al **M.C. Juan Carlos Solís Bautista**, y el **Dr. Arturo Serrano Solís**, quienes a pesar de no formar parte de mi comisión revisora, me brindaron su gran ayuda al revisar este trabajo. Muchas gracias por ser tan buenos amigos.

A los **doctores William Scotth Monks Sheets, Pablo San Martín del Ángel y Rosa Idalia Hernández Herrera**, miembros de la comisión revisora, por haber revisado este trabajo y aportar valiosas ideas para la mejora de esta investigación. Muchas gracias.

A todos mis maestros y amigos de la maestría, de quienes aprendí y reforcé mis conocimientos. Fue un placer haber convivido durante dos años con todos ustedes, ya que pasamos grandes momentos juntos. Siempre los recordare.

## DEDICATORIAS

### **A mis padres**

Dedico este trabajo de investigación a dos de las personas más valiosas e importantes en mi vida; al Sr. **Leocadio Mendoza Hesiquio** y la **Sra. Maricela Díaz Celestino**, quienes me han brindado todo su apoyo, comprensión y confianza durante toda mi vida, quienes además de ser mis padres han sido tan buenos amigos y me han sabido aconsejar y llevar por un buen camino. Gracias por estar a mi lado, por brindarme su fortaleza y bondad. Los amo.

### **A mis hermanos**

Javier, Oscar y Adriana, por estar siempre a mi lado, por brindarme su cariño y su gran amistad, por estar siempre unidos y nunca dejar que nada ni nadie nos derrumbe, por luchar siempre juntos por lo que queremos y animarnos para alcanzar siempre el éxito.

### **A mi novia**

Katia Lizaurith, quien ha estado a mi lado durante 3 largos años y me ha alentado siempre para seguir adelante. Gracias por ser tan buena persona y demostrarme tu confianza y lo mucho que me quieres. Eres una persona súper especial para mí. Te amo.

## ÍNDICE

Resumen	
Contenido	Páginas
1.- Introducción.....	1
2.- Antecedentes	5
2.1.- Biología del género <i>Farfantepenaeus</i> .....	5
2.1.1.- Distribución geográfica de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> .	6
2.2.- Contaminación ambiental.....	7
2.3.- Generalidades de los metales pesados.	8
2.3. 1.- Características y fuentes de los metales pesados.....	9
2.3.1.1.- Plomo	10
2.3.1.2- Cobre.....	11
2.3.1.3- Cadmio	12
2.3.1.4- Cromo.....	14
2.4.- Impacto de los metales pesados en crustáceos	15
2.5.- Estudio de metales pesados en México.....	17
3.- Objetivos	22
3.1.- Objetivo general.....	22
3.2.- Objetivos particulares	22
4.- Área de estudio.....	23
5.- Metodología	25
5.1.- Trabajo de campo.....	25

5.2. Trabajo de laboratorio	26
5.3.- Trabajo de gabinete.....	27
5.3.1.- Análisis estadístico	27
5.3.2.- Método de las muestras y límite máximo de los metales.....	27
6. Resultados	29
6.1.- Metales pesados.....	29
6.1.2.- Cadmio (Cd)	29
6.1.3 Cromo (Cr).....	32
6.1.4 Cobre (Cu)	34
6.1.5.- Plomo (Pb).....	36
6.2.-Descripción fisicoquímica de la laguna de Tampamachoco	37
6.2.1.- Salinidad.....	37
6.2.2.- Oxígeno disuelto	39
6.2.3.-Temperatura.....	42
7.- Discusión	46
8.- Conclusiones.....	61
9.- Recomendaciones	63
10.- Aplicaciones.....	65
11. - Bibliografía	66
11.- Anexos.....	82
11.1.- Anexo 1	82
11.2.- Anexo 2.....	83
11.3.- Anexo 3	84

## ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1 Normas Mexicanas e internacionales para el método de prueba, determinación y niveles máximos de metales pesados.....	28
Cuadro 2 Valores de salinidad en UPS de los 4 puntos de muestreo en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo de muestreo.....	82
Cuadro 3 Valores de oxígeno disuelto (OD) en mg/l de los 4 puntos de muestreo en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo de muestreo.....	83
Cuadro 4 Valores de temperatura en °C de los 4 puntos de muestreo en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo de muestreo.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Páginas
Figura 1	Morfología externa de un peneido.....	5
Figura 2	Distribución geográfica de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> .....	7
Figura 3	Localización geográfica del la laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	23
Figura 4	Concentración mensual de Cd en mg/kg en músculo de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> .....	30
Figura 5	Concentración de Cd en mg/Kg en músculo de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> por épocas climáticas de la región.....	31
Figura 6	Concentración mensual de Cr en mg/kg en músculo de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> .....	32
Figura 7	Figura 10. Concentración de Cr en mg/Kg en músculo de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> por épocas climáticas de la región.....	33
Figura 8	Concentración mensual de Cu en mg/kg en músculo de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> .....	34
Figura 9	Concentración de Cu en mg/Kg en músculo de <i>Farfantepenaeus aztecus</i> por épocas climáticas de la región.....	35
Figura 10	Concentraciones de salinidad en UPS por épocas climáticas de la región de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	38
Figura 11	Concentraciones promedio de salinidad en UPS de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz...	39
Figura 12	Concentraciones de oxígeno disuelto en mg/l por épocas climáticas de la región de la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	41

Figura 13	Concentraciones promedio de oxígeno disuelto de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz...	42
Figura 14	Concentraciones de temperatura en °C por épocas climáticas de la región de la Laguna de Tampamachoco. Veracruz.....	44
Figura 15	Concentraciones promedio de temperatura de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.....	45

## RESUMEN

En el Golfo de México la contaminación de los ecosistemas marinos por metales pesados se da principalmente por las actividades industriales, ocasionando problemas de conservación de los recursos naturales más difíciles de afrontar. El estimar la contaminación por metales pesados permite evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona. Dentro de los organismos utilizados como bioindicadores se encuentran a los peneidos, organismos que por sus hábitos de vida y alimenticios, absorben grandes cantidades de metales pesados. Estos organismos son uno de los recursos más importantes con alto valor mundial y son exportados a E.U.A y Japón. Pero al ser consumidos por los humanos pueden ser nocivos para su salud si estos contienen elevadas concentraciones de metales pesados. Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de metales pesados en *Farfantepenaeus aztecus* (camarón café) colectados en la laguna de Tampamachoco al norte de Veracruz. Se realizaron muestreos mensuales de Marzo del 2009 a Febrero del 2010, colectando de 30 a 40 organismos. Una vez obtenidas las muestras, éstas se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se analizaron 4 metales (Cd, Cr, Pb y Cu). Las concentraciones máximas encontradas para cada elemento fueron las siguientes; Cd: 1.55 mg/kg, Cr: 2.32 mg/kg, Cu: 18.625 mg/kg. Las concentraciones mínimas fueron; Cd: 1.17 mg/kg, Cr: 0.3 mg/kg, Cu: 10.45 mg/kg. El Pb no fue detectado ya que no se encontró la cantidad de detección mínima requerida (0.25 mg/Kg) por el espectrofotómetro. De acuerdo a las normas mexicanas, todas las muestras de Cd rebasaron el nivel máximo permisible en crustáceos (0.5 mg/kg). Para el Cr, ninguna de las muestras analizadas rebaso el límite permisible por la FDA para crustáceos (Cr: 12 mg/kg). En cuanto al Cu ninguna de las muestras analizadas rebaso el límite permisible por la FAO (32.5 mg/Kg).

Palabras claves: Contaminación, metales pesados, normatividad, camarones, *Farfantepenaeus aztecus*.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El camarón es uno de los recursos pesqueros más valorado a nivel mundial, por lo que alcanza un gran precio por unidad de peso. En México, el camarón es uno de los recursos pesqueros más importantes, ya que su aprovechamiento constituye una actividad relevante desde el punto de vista económico, social y cultural. El camarón tiene una alta demanda para el consumo nacional y como producto de exportación, principalmente a E.U.A., Japón y la Comunidad Europea (FAO, 2008). El valor de la producción pesquera anual de camarón varía entre el 35 % y 40 % del valor total de la producción pesquera nacional. En ambas costas del país se captura este crustáceo con una producción total que fluctúa alrededor de 70,000 toneladas anuales; la captura en el Golfo de México contribuye aproximadamente con 30 % a la producción pesquera nacional de este producto (FAO, 2008).

Dentro del Golfo de México tres especies son las más importantes para estas pesquerías, tanto en aguas nacionales como las de E.U.A. Se captura *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891; camarón café) en las costas de Tamaulipas y Veracruz, *Farfantepenaeus duorarum* (Burkenroad, 1939; camarón rosado) y *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus, 1767; camarón blanco) se captura en la sonda de Campeche y *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817; camarón rojo) se captura en el Caribe Mexicano (INP, 2002; Caso *et al.*, 2004).

Dentro del grupo de camarones que se pescan dentro del Golfo de México destaca la especie *F. aztecus* debido a que soporta esta pesquería, porque las poblaciones se encuentran en mayores condiciones de abundancia que otras especies (INP, 2009). Esta especie tiene una alta demanda para consumo humano en los diferentes estadios de su ciclo de vida y se captura el 40 % del total de la pesquería de la especie como juveniles en las áreas de crianza (dentro de lagunas costeras, principalmente en Tamaulipas y Veracruz) y el 60 % restante se captura en su estado adulto en altamar (Caso *et al.*, 2004).

En las últimas décadas se han realizado investigaciones pesqueras las cuales han demostrado que los factores ambientales, fundamentalmente las lluvias, unido a factores antropogénicos, como el represamiento de los ríos y el deterioro de los ecosistemas lagunares, han tenido fuerte repercusión en todas las especies (González y Ortiz, 2002; Sosa, 2004). El camarón se encuentra en su máximo estado de explotación comercial, provocando una disminución de su captura año con año. Por ejemplo, en Veracruz en el año 2007, la captura de *F. aztecus* fue de 1,417 toneladas y el año 2008 la captura de la misma especie se redujo a tan solo 1,344 toneladas (FAO, 2008; SAGARPA, 2009).

El hombre juega un papel importante en el vertiginoso deterioro de los ambientes y especialmente de los ecosistemas costeros, por las cantidades excesivas de contaminantes que incorpora al ambiente. Las actividades como el gran desarrollo de las tecnologías, el crecimiento demográfico, el crecimiento petrolero e industrial

y la utilización de agroquímicos para la agricultura causan efectos adversos en el ambiente y afectan severamente a los organismos que lo habitan (Albert y Badilla, 1999).

De las actividades antes mencionadas, las principales sustancias y productos que se desechan al ambiente en cantidades inmoderadas se encuentran los residuos industriales, aguas negras sin tratar, residuos radioactivos, aceites, petróleo, restos de plásticos, productos químicos como el dicloro difenil dricloroetano (DDT), policlorobifenilos (PCB), aldrín, dieldrín, compuestos organoclorados y los metales pesados como el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), zinc (Zn), cromo (Cr), entre otros (Cawardine, *et al.*, 2006). Es común pensar en los contaminantes en términos de concentraciones fuertes, pero los metales pesados en concentraciones muy pequeñas pueden ocasionar serios problemas tanto a los organismos, como a los consumidores de los mismos (Harte *et al.*, 1991) debido a su capacidad de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica (Marcovecchio *et al.*, 1991).

Los metales son elementos naturales de la corteza terrestre, de las rocas, suelos, sedimentos y las erupciones volcánicas en cantidades pequeñas o a veces en cantidades considerables, como en las minas (Vázquez-Botello *et al.*, 2004). El gran problema de estos elementos se da cuando son utilizados y desechados al ambiente sobre los ríos, estuarios, lagunas y mares (Cawardine *et al.*, 2006).

Las lagunas y estuarios son los ecosistemas más frágiles y sensibles y con el transcurso de los años han sufrido una serie de transformaciones negativas, esto debido a la gran contaminación (Villanueva y Botello, 1992). Dentro de estos ecosistemas los organismos suelen ser frágiles y sensibles, capaces de sufrir diversas alteraciones que causan al ambiente las actividades antropogénicas. Incluso, los ecosistemas costeros son los más sensibles por la interacción de diversos componentes; el medio marino el continental y el atmosférico (Botello *et al.*, 1996).

La laguna de Tampamachoco es un sistema lagunar con nivel económico importante, en ella se captura cantidades considerables de peces y crustáceos de este grupo, destacando *F. aztecus*. La laguna de Tampamachoco ha sufrido problemas de contaminación en los últimos años pues ésta recibe aportes antropogénicos de las comunidades aledañas sobre ella así como hacia el río, cerca de ésta existen compañías industriales dedicadas a la construcción de plataformas petroleras tales como DEMERESA, COTEMAR, SWECOMEX, APITUX, Central Termoeléctrica Adolfo López Mateos, así como las instalaciones de PEMEX. Las descargas de estas industrias causan un choque físico sobre la laguna, ocasionando contaminación por metales pesados que afectan la salud y la calidad alimenticia de los organismos que se capturan y que se consumen. Por lo anterior el presente trabajo tiene como propósito estimar el nivel de concentración de metales pesados en individuos de *F. aztecus* que se captura en la laguna de Tampamachoco, Veracruz.

## 2.- ANTECEDENTES

### 2.1.- Biología del género *Farfantepenaeus*.

Los camarones del género *Farfantepenaeus* pertenecen al *Phylum Arthropoda* y se caracterizan por presentar apéndices segmentados y el exoesqueleto revestido de quitina (Barnes, 1984). El cuerpo del camarón está dividido en dos regiones principales: cefalotórax (cabeza) y abdomen (cola). El cefalotórax, aunque no es la parte comestible del animal, posee gran cantidad de enzimas digestivas lo cual le confiere un elevado valor nutricional (Nolasco, 2002). La cola está formada por seis segmentos que terminan en el telson, compuesta fundamentalmente por músculos con fibras cruzadas y constituye la porción del animal que se consume (Figura 1; Carrillo y Vega, 2002; Arazo, 2006).

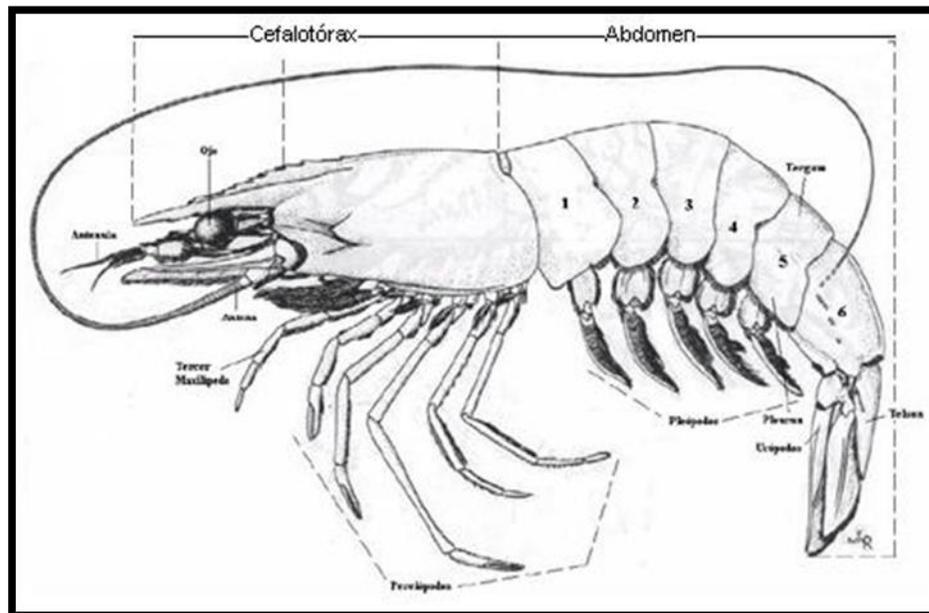


Figura 1. Morfología externa de un peneido (Nolasco, 2002).

Los camarones peneidos costeros se encuentran en zonas intertropicales y subtropicales. Ellos viven la mayor parte del tiempo sobre fondos generalmente fangosos o fangoarenosos, ricos en materia orgánica, aunque una parte del ciclo vital tiene lugar en aguas más o menos salobres. Miembros del género *Farfantepenaeus* poseen una gran adaptabilidad a condiciones muy diversas. Según García y Le Reste (1987), juveniles de *Penaeus notialis* (Pérez Farfante, 1967) de Senegal habitan en aguas casi dulces, pero igualmente se encuentran en ambientes estuarios hipersalinos. En las lagunas costeras, las postlarvas y juveniles de esta especie tienen preferencias por las zonas de pastos marinos, así como por el refugio que les brinda las raíces de los mangles (Bueno *et al.*, 2005). Según estudios realizados por Treviño *et al.*, (1995) y posteriormente por Ramos, (2000), se reconocen que la mayoría de los camarones peneidos tienen una alta tasa de crecimiento, un alto poder reproductor y que su longevidad es entre uno y dos años.

#### 2.1.1- Distribución geográfica de *Farfantepenaeus aztecus*.

*Farfantepenaeus aztecus* se puede encontrar a lo largo de la costa Atlántica occidental de E.U.A. desde Martha's Vineyard, Massachusetts, hasta el Golfo de Campeche y la porción norte de la Península de Yucatán, México (Figura 2; Bueno *et al.*, 2005).

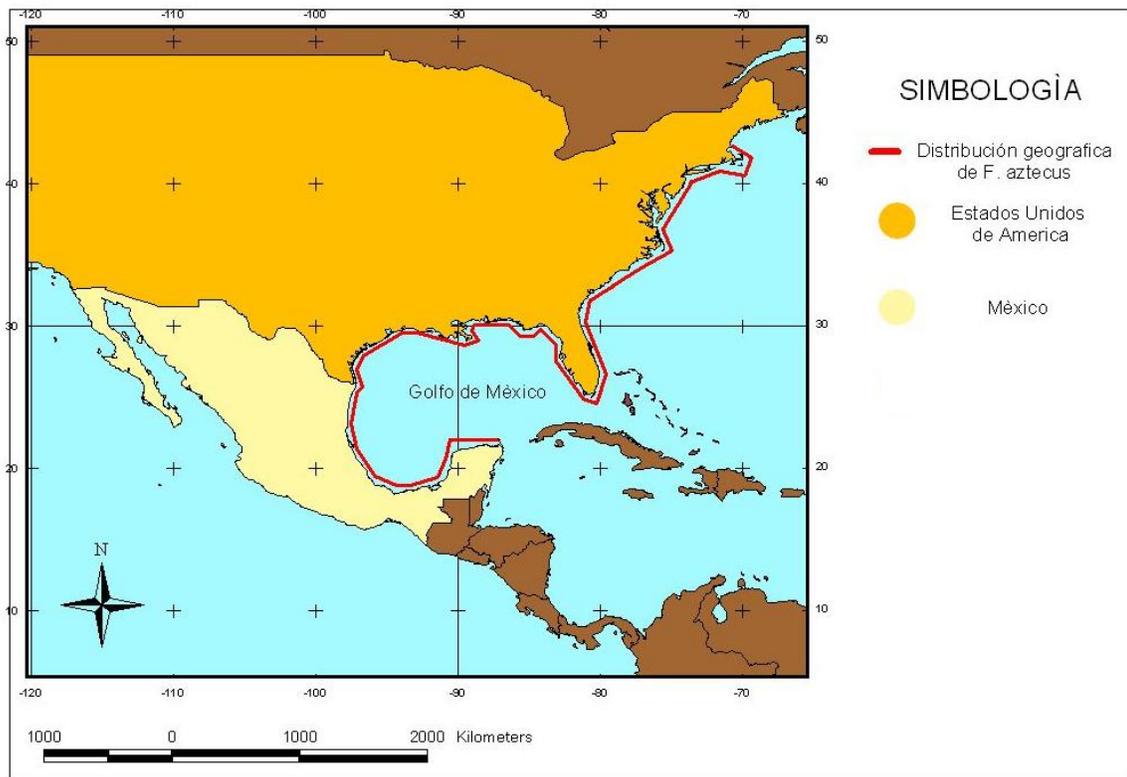


Figura 2. Distribución geográfica de *Farfantepenaeus aztecus*.

## 2.2.- Contaminación ambiental.

Se le considera contaminación a todas aquellas sustancias o productos que dañan, corrompen y hacen un cambio perjudicial en las características físicas, químicas y biológicas del aire, tierra y agua, y que afectan nocivamente la vida de la gran mayoría de las especies (Odum, 1986). Día con día la contaminación ambiental aumenta drásticamente como consecuencia del desarrollo urbano e industrial, los asentamientos humanos y las diversas actividades que el hombre

desarrolla tanto en la tierra como en el mar. Dichas acciones influyen negativamente sobre los ríos, estuarios, lagunas y océanos ocasionando una seria contaminación afectando severamente a los organismos que ahí habita (Botello y Páez-Osuna, 1986).

### 2.3.- Generalidades de los metales pesados.

Entre los contaminantes más estudiados en el ambiente costero se encuentran los metales pesados, un grupo de elementos químicos con un peso atómico que varía entre 63.564 g/mol y 200.590 g/mol, caracterizados por poseer una distribución electrónica externa similar (Osuna, 2005). Los metales pesados, potencialmente tóxicos, pueden ser subdivididos en dos categorías:

- 1) Metales de transición: elementos como el Co, Fe, Cu, Mn y Zn, los cuales son esenciales para el metabolismo en bajas concentraciones, pero que pueden ser tóxicos en concentraciones elevadas.
- 2) Metales o metaloides: elementos como el Pb, Cd, Hg, As, Cr, Se y Sn, los cuales no son requeridos para el metabolismo y son potencialmente tóxicos aun en concentraciones bajas (Páez Osuna, 2005).

Ambos grupos de metales tienen la capacidad de bioacumularse (proceso en el cual ciertos contaminantes se incorporan a los organismos a partir de fuentes abióticas y acumulan en sus cuerpos) y biomagnificarse (incremento de un contaminante al pasar de un nivel trófico a otro) a lo largo de la cadena alimentaria (Anaya y Encinas, 2007).

### 2.3. 1.- Características y fuentes de los metales pesados.

Los metales pesados son elementos que se encuentran de forma natural en las rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y agua. Infortunadamente, años después de haber iniciado la revolución industrial han ocurrido grandes cambios en el aumento de sus concentraciones debido a su alto uso en las actividades antropogénicas (Albert, 1999; Caso *et al.*, 2004). El incremento de estos elementos ocurre principalmente en la extracción de la minería, refinación de productos mineros, refinación de petróleo, liberación al ambiente de efluentes industriales, emisiones vehiculares, y la inadecuada disposición de residuos metálicos; todo esto ha ocasionado la contaminación del suelo, agua superficial y subterránea y los ambientes acuáticos (INECOL, 2010).

Existen tres tipos principales de fuentes de emisión de los metales en el medio ambiente. El más evidente es el proceso de extracción y purificación; los procesos de la minería, fundición y refinación. El segundo, menos conocido, es la emisión

de metales al quemarse combustibles fósiles; tales combustibles contienen Cd, Pb, Hg, Ni, V, Cr y Cu. La tercera fuente, y la más diversa, es la producción y utilización de productos industriales que contienen metales, que aumenta al descubrirse nuevas tecnologías y aplicaciones (Anaya y Encinas, 2007).

#### 2.3.1.1.- Plomo (Pb).

El Pb es un elemento bastante raro en la litósfera relativo a otros metales. El porcentaje de Pb en la corteza terrestre es alrededor de 0.00002% (Ramírez, 1999). Es un metal de color gris-azulado en su forma pura con baja temperatura de fusión y que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre. Rara vez se encuentra en la naturaleza en forma de metal; generalmente se encuentra combinado con dos o más elementos formando compuestos de Pb y aleaciones útiles (ATSDR, 2007).

El Pb se emplea en una gran variedad de productos, incluyendo la fabricación de tuberías de agua, baterías, pesas, proyectiles y municiones, gasolina, pigmentos, pinturas, vidriados cerámicos y los revestimientos de cables y láminas para protección de radiación. La mayor parte de este metal se emplea en las baterías, pero en gran parte se recupera, de tal manera que el plomo se puede reciclar y reutilizar (Dickson, 1999).

El Pb no es un elemento esencial para los organismos. Es tóxico para los humanos, principalmente para los niños. Las principales fuentes de exposición que experimenta el hombre son el aire, agua, polvo y el consumo de ciertos organismos con altos índices de metales. El nivel que es aceptado en la sangre de los humanos es de 10 µg/ dl (CDC, 1991).

La dosis mortal de Pb absorbido se ha calculado en 0.58 mg; la acumulación y toxicidad aparecen si se absorben más de 0.5 mg por día. La vida media del Pb en los huesos es de 32 años y en el riñón de 7 años; el límite de exposición para el Pb en la atmósfera es de 0.15 mg/m<sup>3</sup> y el límite de exposición del Pb en la comida es de 2.56 mg/Kg (Robertson y Dreishbach, 1988).

#### 2.3.1.2.- Cobre (Cu).

El Cu es un metal de color rojizo que se encuentra de manera natural, en las rocas el agua, los sedimentos y muy poco en el aire, este presenta una densidad de 8.96 g/cm<sup>3</sup>, con un punto de fusión de 1083°C y ebulle a los 2595°C (LENNTECH, 2009). La mayor parte del Cu del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelito, calcopirita, bornita y enargita, su concentración promedio en la corteza terrestre es aproximadamente de 50 partes de Cu por millón de partes (ppm) de suelo (Wright, 2003).

El Cu es un metal esencial y requerido para los organismos, ya que contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos, por lo que significa que es necesario para la vida humana. Sin embargo, la exposición a dosis altas puede ser perjudicial, ocasionando irritación de la nariz, la boca, los ojos y causar dolores de cabeza, mareo, náusea y diarrea (ATSDR, 2004).

El Cu puede entrar al medio ambiente por medio de la liberación de las minas de Cu y de muchos otros metales, así como de las fábricas que manufacturan o usan Cu metálico, o compuestos de cobre. También, puede encontrarse en el medio desde basurales, el agua residual doméstica, la combustión de desperdicios y combustibles fósiles, la producción de madera, producción de abonos de fosfatos y de fuentes naturales como polvo en el aire, suelos, volcanes, vegetación en descomposición, incendios forestales y de la espuma del mar (ATSDR, 2004).

#### 2.3.1.3.- Cadmio (Cd).

El Cd es un metal de color blanco azulado, dúctil y maleable y es poco abundante en la corteza terrestre, tiene una densidad de  $8.65 \text{ g/cm}^3$ , su punto de ebullición es de  $765^\circ\text{C}$  y el de fusión es de  $320.9^\circ\text{C}$ ; el Cd es un elemento no esencial que presenta una gran toxicidad muy similar a la del Hg (Holding, 2008; Rodríguez-Serrano *et al.*, 2008).

De forma natural cantidades inmoderadas de Cd son liberadas al ambiente, sobre 25,000 toneladas al año. La mitad de dicho cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de las rocas, pero otra parte se libera por los incendios forestales y erupciones volcánicas; el resto es liberado por las actividades humanas (Rodríguez-Serrano *et al.*, 2008).

Los principales usos y aplicaciones que el hombre le da al Cd son la utilización de pigmentos en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, vidrios, tintas de impresión, caucho, lacas, etc. Así mismo, es utilizado en la aleación de otros metales como Cu, Al y Ag, producción de pilas Cd-Ni, estabilizadores de termoplásticos como el PVC, las fotografías, litografía, procesos de grabado, endurecedores de neumáticos para autos, fabricación de foto-conductores, celdas solares y controles de reactores nucleares (Alonso *et al.*, 2004).

Este elemento llega al suelo de terrenos agrícolas por deposición aérea (41 %), con los fertilizantes fosfatados (54 %) y por la aplicación de abono de estiércol (5%); entra en la alimentación humana por medio de los vegetales y productos animales. Unos ejemplos de estos alimentos son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas. También, el humo de cigarro transporta Cd a los pulmones; éste puede dañar severamente a los pulmones (Rodríguez- Serrano *et al.*, 2008)

#### 2.3.1.4.- Cromo (Cr).

El Cr es un elemento de transición duro, frágil, de color gris acerado brillante y que es muy resistente frente a la corrosión, es relativamente suave y dúctil cuando no está tensionado o cuando está muy puro. Su densidad es de  $7.19 \text{ g/cm}^3$ , su punto de ebullición es de  $2665^\circ\text{C}$  y el de fusión es de  $1875^\circ\text{C}$ . El Cr elemental no se encuentra en la naturaleza, se obtiene a partir de la cromatita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), este se obtiene comercialmente calentando  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  en presencia del Al o Si mediante un proceso de reducción (Wright, 2003).

El Cr es empleado principalmente en la metalurgia para aportar resistencia a la corrosión y dureza, acabados protectores brillantes para el acero, la anodización del Al y para el cromizado, proceso en el cual piezas de acero se calientan en una atmósfera de Cr y éste lo absorbe, propiciando una dureza y resistencia a la corrosión superficial (Devlin, 2004). En forma de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), se utiliza para la limpieza de material de vidrio de laboratorio y en análisis volumétricos, en pinturas cromadas como tratamientos antioxidantes, los cromatos y óxidos se emplean en colorantes y pinturas. También es común el uso del Cr y algunos de sus óxidos como catalizadores, por ejemplo en la síntesis de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ); (Devlin, 2004).

El mineral  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  se utiliza en moldes para la fabricación de ladrillos; con todo, una buena parte de la cromita consumida se emplea para obtener Cr o en

aleaciones; para preservar la madera se suelen utilizar sustancias químicas que se fijan a la madera protegiéndola, entre estas sustancias se emplea óxido de cromo (VI;  $\text{CrO}_3$ ); (Devlin, 2004).

El dióxido de cromo ( $\text{CrO}_2$ ) se emplea para fabricar las cintas magnéticas empleadas en los casetes, dando mejores resultados que con óxido de hierro (III) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) debido a que presentan una mayor coercitividad (Wright, 2003).

Las principales causas por las cuales el Cr se incorpora al ambiente se deben a las emisiones industriales, descargas de efluentes industriales, quema de combustibles fósiles, los lodos de perforación y la incineración de los residuos sólidos urbanos (Bruland, 1983).

#### 2.4.- Impacto de los metales pesados en crustáceos.

Los organismos vivos requieren de ciertas cantidades de algunos metales para realizar eficazmente los procesos fisiológicos (Scelso, 1997). El exceso de la concentración de metales pesados en su ambiente afecta a los organismos acuáticos de diferentes maneras, tanto en la disminución de su metabolismo y crecimiento hasta causar la muerte. En la fauna marina, las elevadas concentraciones de metales pesados pueden causar asfixia debido a la coagulación de las mucosidades sobre las branquias (Robles *et al.*, 2008).

Se han realizado algunos bioensayos en postlarvas de camarón, *Cryphiops ementarius*, para conocer los efectos de la toxicidad aguda del Cu. Mendoza, (2007) demostró que, aunque éste es un metal esencial para el desarrollo de la especie, a partir de concentraciones de 0.16 mg/l hasta 2.0 mg/l, en un periodo de 96 horas, las postlarvas sufren primeramente de hiperactividad natatoria, síntomas moderadas de estrés, reacción de escape y adhesión a los vidrios de los acuarios. Los bioensayos también demostraron que después de este tiempo los camarones entraban en una fase de hipoactividad natatoria, una falta de desplazamiento, falta de lucha, falta de reacción a estímulos mecánicos y mortalidad mínima. Finalmente, la exposición crónica a dosis del metal menores de 0.1 mg/l produce ultraestructuración de branquias y estrés proteico (Mendoza, 2007).

Scelso, (1997) planteó que el exceso de Cu en los primeros estadios de desarrollo de los nauplios de *Artemesia longinaris* provocaban disminución del crecimiento larval. Además, los nauplios mostraban dificultades al desprenderse de la cutícula durante la muda porque las setas y espinas no se expandieran totalmente y, por lo tanto, presentaban un aspecto deforme.

Suárez, (2003) estudió los efectos de la toxicidad del Pb en *F. duorarum* y descubrió que este metal provocaba la mortalidad de la especie por el bloqueo del sistema circulatorio por coagulación de la hemolinfa, por anoxia por coagulación de mucus sobre las branquias, o por la combinación de ambas vías. También, detectó que la intoxicación con este metal provocó daños en el sistema

nervioso, ya que se observó que los camarones perdían el equilibrio antes de morir, nadaban dando oscilaciones circulares continuas, para luego caer en el fondo del recipiente de ensayo ocupando una posición dorsal.

Metales como el Cd, Cu, Cr, Zn y Pb, principalmente este último, producen la disminución en el número de los hemocitos en el camarón (Márquez *et al.*, 2008).

El Hg, al igual que el Cd, compite con los metales esenciales por los centros enzimáticos debido a su afinidad con los grupos tioles (-SH). Se sabe que el Hg provoca alteraciones en centros de actividad redox en los crustáceos, interactuando con puentes disulfuros, causando un desbalance de los sistemas proteicos. También, Hernández *et al.*, (2009) comprobaron que especies catiónicas de Hg se unen fuertemente con algunas bases de nucleótidos, originando acciones mutagénicas.

## 2.5.- Estudio de metales pesados en México.

Actualmente, en México los estudios de metales pesados se realizan con más frecuencia que en el pasado con el fin de conocer el grado de toxicidad a los que se encuentran expuestos los organismos acuáticos, así como los consumidores de los mismos organismos. Se han presentado problemas de enfermedades y muertes en organismos, como sucedió en octubre de 1992 en la ciudad de La Paz,

Baja California Sur, cuando se recibió información sobre un evento de muerte de peces, aves y mamíferos marinos en Bahía Magdalena. Los estudios realizados comprobaron que la mayoría de los organismos contenían elevadas concentraciones de metales pesados (Renato *et al.*, 2003).

En un estudio realizado por investigadores de la UNAM de los ostiones del golfo de California, específicamente en las lagunas de Sonora (Yavaros y Agiabampo), Sinaloa (Ohuira Navachiste, Santa María, Altata, Ceuta, Mazatlán, Caimanero, Teacapán), Nayarit (Mexcaltitlán, San Cristóbal, Nuevo Vallarta) y Jalisco (Barra de Navidad). Se encontraron niveles de Pb (7 mg/kg) siete veces por arriba de las normas mexicanas (1 mg/kg), (NOM-029-SSA1-1993), así como Cu y Zn (Páez-Osuna *et al.*, 2002).

García-Hernández *et al.*, (2005) encontraron concentraciones de Cd en moluscos del estado de Sinaloa ocho veces más de lo permitido por las normas Mexicanas (0.5 mg/kg), (NOM-029-SSA1-199). Estos autores presentaron la hipótesis que hay una relación directa entre la concentración de Cd y el Pb en el sedimento y la supervivencia de microalgas tóxicas, las cuales provocan la muerte masiva de peces en esta región por comerlos.

En una investigación más reciente en seis lagunas el estado de Sinaloa, Frías-Espericueta *et al.*, (2009) realizaron estudios de Cd y Pb en *Litopenaes vannamei*. Las concentraciones de Cd encontradas en el músculo del camarón

(0.44 mg/kg) estuvieron dentro el límite establecido por las normas mexicanas. Sin embargo, para el Pb, las concentraciones encontradas (5.1 mg/kg) fueron superiores a lo establecido por la normatividad mexicana (1 mg/kg), (NOM-029-SSA1-1993).

En el golfo de México, debido a la zona petrolera con la que cuenta, se han realizado varios estudios de este tipo, porque en ella han ocurrido serios problemas por derrames de petróleo, principalmente en las zonas de Veracruz, Tabasco y Campeche (Vázquez-Botello *et al.*, 2004).

Villanueva *et al.*, (1988) realizaron un estudio de Ni, Cu, Mn, Fe y Zn en moluscos, crustáceos y peces de Río Coatzacoalcos y Laguna del Ostión, Veracruz. Los resultados mostraron una alta concentración de Zn y Ni en moluscos *Crassostrea virginica* - Zn =144 mg/kg y Ni =84 mg/kg y *C. rhizophora* - Zn =138 mg/kg, Ni =147mg/kg). Para los peces y crustáceos estos elementos fueron muy bajos o no detectados. Las concentraciones del Cu, Mn y Fe fueron bajas o no detectadas.

En el sur del Golfo de México, Vázquez *et al.*, (2008) realizaron un estudio de metales pesados (Hg, Co, Pb, Ni, V y Cr) en el tejido muscular del bagre, *Ariopsis felis*. Las concentraciones medias de los metales fueron los siguiente; Hg = 0.083 mg/kg, Co = 0.492 mg/kg, Pb = 1.031 mg/kg, Ni= 0.918 mg/kg, V = 1.330 mg/kg y Cr = 1.339 mg/kg. Los niveles de metales pesados encontrados en el tejido muscular de *A. felis* fueron inferiores a los establecidos en normas nacionales e

internacionales (Hg: 1mg/kg, Pb: 1mg/kg, Cr: 12 mg/kg), (NOM-029-SSA1-1993; FDA, 1993).

Un estudio de metales pesados realizado por Ávila y Zarazúa, (1993) en *C. virginica* del canal El Chijolar, Veracruz, mostraron concentraciones relativamente altas (Cu = 200 mg/kg, Zn = 2500 mg/kg, Cr = 20.4 mg/kg, Pb = 12.2mg/kg) en comparación con lo permitido por normas mexicanas e internacionales (Cu= 32.5 mg/kg, Zn= 718 mg/kg, Cr= 13 mg/kg, Pb= 1 mg/kg), (NOM-029-SSA1-1993; FDA, 1993; FAO, 1983).

En la laguna de San Andrés, Tamaulipas, Vázquez-Sauceda *et al.*, (2005) realizaron estudios de Cd y Pb en agua, sedimento y ostiones (*C. virginica*). Las concentraciones más elevadas de Cd se presentó en los ostiones, pero la concentración mayor del Pb se encontraron en sedimento. Las concentraciones fueron las siguientes: Cd- agua = 0.33 mg/kg, ostión = 2.33 mg/kg, sedimentos = 1.11 mg/kg; Pb- agua = 0.70 mg/kg, ostión = 0.85 mg/kg, sedimento = 1.01 mg/kg.

Más reciente, Robles-Hernández *et al.*, (2008) realizaron estudios de Cd y Pb en *F. aztecus* de la laguna de San Andrés. Los resultados mostraron niveles por encima de lo permitido por las normas mexicanas para el Cd y Pb (Cd= 0.5 mg/kg, Pb=1.0 mg/kg). En Octubre y Diciembre las concentraciones de Cd fueron las de mayor concentración. En Octubre y Marzo fueron los meses con mayor concentración de Pb.

Determinación de metales pesados en *Farfantepenaeus aztecus* colectados en la laguna de Tampamachoco Veracruz. 2010

Finalmente, Gold-Bouchot *et al.*, (2005) realizaron estudios en *C. virginica* colectados en las lagunas Carmen, Machona y Meocacán del estado de Tabasco. Los autores reportaron algunas fracciones de hidrocarburos y de metales pesados tales como el Cd; dichos hidrocarburos y el Cd se relacionaron con la presencia de lesiones histológicas en los tejidos blandos de los ostiones (*C. virginica*).

### 3.- OBJETIVOS

#### 3.1.- Objetivo general.

Evaluar las concentraciones de algunos metales pesados (cadmio, cromo, cobre y Plomo) en organismos juveniles de *Farfantepenaeus aztecus* (camarón café) que se captura en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

#### 3.2.- Objetivos particulares.

- Identificar la presencia de algunos metales pesados de importancia biológica (Cd, Cr, Cu y Pb) en *Farfantepenaeus aztecus*.
- Medir la concentración de Cd, Cr, Cu y Pb presentes en el músculo de *Farfantepenaeus aztecus* de acuerdo a las épocas climáticas del año.
- Determinar si los valores se encuentran dentro de los niveles establecidos por la NOM-029-SSA1-1993 (NOM, 1993), por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de E.U.A) (FDA, 1983) y la FAO (Organización para la Agricultura y Alimentación) (Nauen, 1983).
- Describir los parámetros fisicoquímicos (salinidad, pH y temperatura) del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

#### 4.- ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Tampamachoco se localiza en la parte norte del Estado de Veracruz, ubicada entre los 20° 58' 93" y 21° 02' 28" de latitud norte y entre los 97° 19' 99" y 97° 23' 10" de longitud oeste (Figura 3).

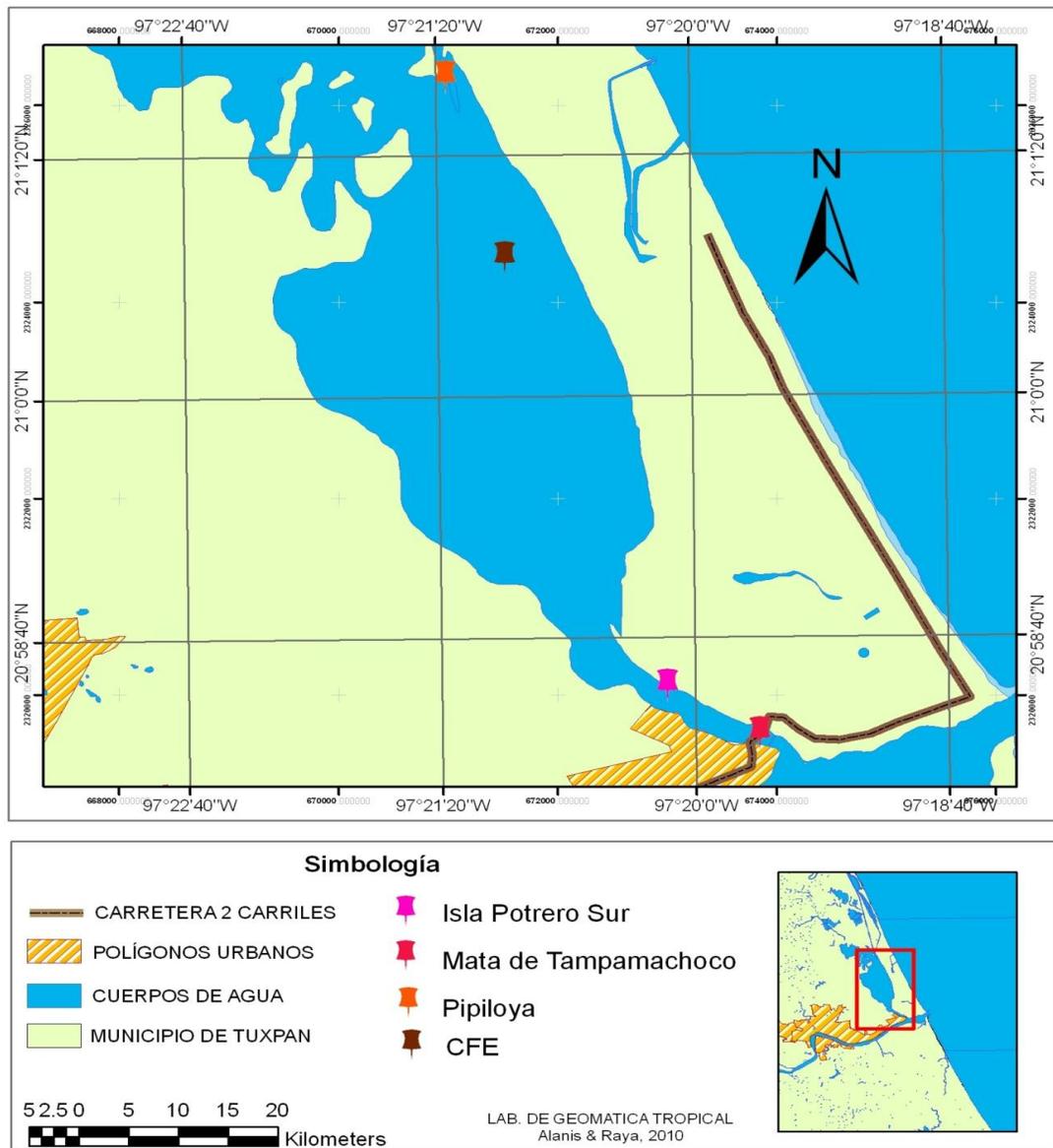


Figura 3. Localización geográfica del la laguna de Tampamachoco, Veracruz.

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 su 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 se comunica con el Río Tuxpan por medio de un estero, (Castañeda y Contreras, 2001).

## 5.- METODOLOGÍA

### 5.1.- Trabajo de campo.

Para el muestreo en la Laguna de Tampamachoco Veracruz, se realizaron 12 salidas a campo. Cada salida se realizó mensualmente durante el periodo de Marzo de 2009 y finalizando en Febrero de 2010, abarcando las épocas climáticas de la región (nortes, lluvias y secas), para ello se utilizó una lancha menor tipo A de fibra de vidrio, con un motor fuera de borda con 35 caballos de fuerza.

Para la toma de los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto), se establecieron 4 puntos de muestreos a lo largo de la Laguna de Tampamachoco: 1) La mata; 2) Isla de potreros; 3) Comisión Federal de Electricidad (CFE); y 4) Pipiloya. El punto de muestreo “La mata” es influenciado por la entrada de agua marina y agua dulce, así como asentamientos humanos de la comunidad de La Mata. El punto “Isla de potreros” no presenta asentamientos humanos ni algún tipo de perturbación. El punto “CFE” se ve influenciado por las instalaciones de la termoeléctrica CFE. Finalmente, “Pipiloya” es el punto de muestreo en el cual se abren los canales de navegación los cuales comunican al mar por el estero de Barra de Galindo. Una vez establecidos y georeferenciados, se midió los parámetros fisicoquímicos en cada punto mencionada con un multiparámetro (HANNA, modelo HI9828).

Para la colecta de muestras de los organismos, no se establecieron puntos específicos de muestreos, ya que estos organismos se desplazan libremente dentro de la laguna. Para su captura se navegó en la lancha descrita anteriormente y con la ayuda de una red de arrastre pequeña se colectó aproximadamente 30 organismos juveniles. Se colocaron los ejemplares vivos en bolsas con una etiqueta y se transportaron al Laboratorio de Bromatología, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, para su posterior estudio.

## 5.2. Trabajo de laboratorio.

Las muestras se prepararon de acuerdo con la técnica “Digestión por vía seca” (NOM, 1994). Esta técnica consiste en lavar las muestras con agua destilada y colocarlas en una estufa eléctrica a una temperatura de aproximadamente 50 °C hasta obtener el peso constante.

En seguida se pesa 0.5 gr de muestra seca y se le añade ácido nítrico concentrado, hasta la obtención de una muestra cristalina, aforándola a 50 ml. Se realizaron dos réplicas de cada una de las muestras, de las cuales a una de ellas se le aplicó 0.5 ml de estándar para obtener una muestra referenciada, se preparó un blanco que sirvió como control y un blanco con estándar como blanco referenciado. Posteriormente, se realizó la preparación de los estándares de

calibración y se hizo el corrimiento de curvas de calibración. Finalmente, se realizaron las lecturas de los elementos por espectrofotometría de absorción atómica por medio de flama para Pb, Cd, Cr y Cu (GBC Avanta).

### 5.3.- Trabajo de gabinete

#### 5.3.1.- Análisis estadístico

Una vez obtenidos los resultados de las lecturas de los elementos, se realizó un análisis estadístico no paramétrico, por medio de la prueba de Kruskal-Wallis con el programa estadístico Sigma Stat versión 3.0, debido a que los datos fueron pocos y no presentaron una distribución normal (Sokal y Rohlf, 1995). En este análisis se compararon las concentraciones de los elementos con las épocas climáticas de la región, con el fin de conocer si existieron diferencias estadísticamente significativas entre estas.

#### 5.3.2.- Método de las muestras y límites máximos de los metales.

El método para la digestión de las muestras y lectura de las mismas, así como los niveles máximos permitidos para cada elemento se rigió por la normatividad indicada en Cuadro 1. La normatividad mexicana en materia de salud pública aún no ha establecido límites permisibles para el Cr en productos de la pesca, tales

como moluscos, peces y crustáceos fresco-refrigerados y congelados. Por lo cual, se tomaron como referencia los límites establecidos por la Administración de Alimentos y Medicamentos de E.U.A. (FDA) para Cr en crustáceos. Al igual que el Cr, la normatividad mexicana aun no ha establecido algún límite permisible para Cu, el cual puedan contener los productos pesqueros, por lo que en este trabajo se tomó como referencia lo establecido por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1983).

CUADRO 1. Normas Mexicanas e internacionales para el método de prueba, determinación y niveles máximos de metales pesados.

Normas Mexicanas e internacionales de metales pesados.		Niveles máximos permisible en mg/Kg			
		Cd	Cr	Cu	Pb
NOM-029-SSA1-1993.	Productos de la pesca. Crustáceos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.	1			.5
FDA, 1993.	Límite máximo permisible de Cr en moluscos bivalvos.	3	12		1.7
FAO, 1983	Nauen, 1983.Límite máximo promedio de Cu para moluscos bivalvos.			32. 5	
NOM-117-SSA1-1994.	Método de prueba para la determinación de cadmio, cromo, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, mercurio y zinc en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica.				

## 6. – RESULTADOS

### 6.1.- Metales pesados.

Se colectaron muestra mensuales de 30 organismos juveniles de *Farfantepenaeus aztecus* durante el periodo Marzo del 2009 a Febrero de 2010. Los análisis de espectrofotometría mostraron los siguientes resultados.

#### 6.1.1.- Cadmio (Cd).

El valor más alto de Cd en *F. aztecus* se encontró en el mes de Noviembre con una concentración de 1.55 mg/kg y la concentración más baja se presentó en el mes de Marzo con una concentración de 1.17 mg/kg, (Figura 4). El valor promedio anual para este metal fue de 1.36 mg/kg.

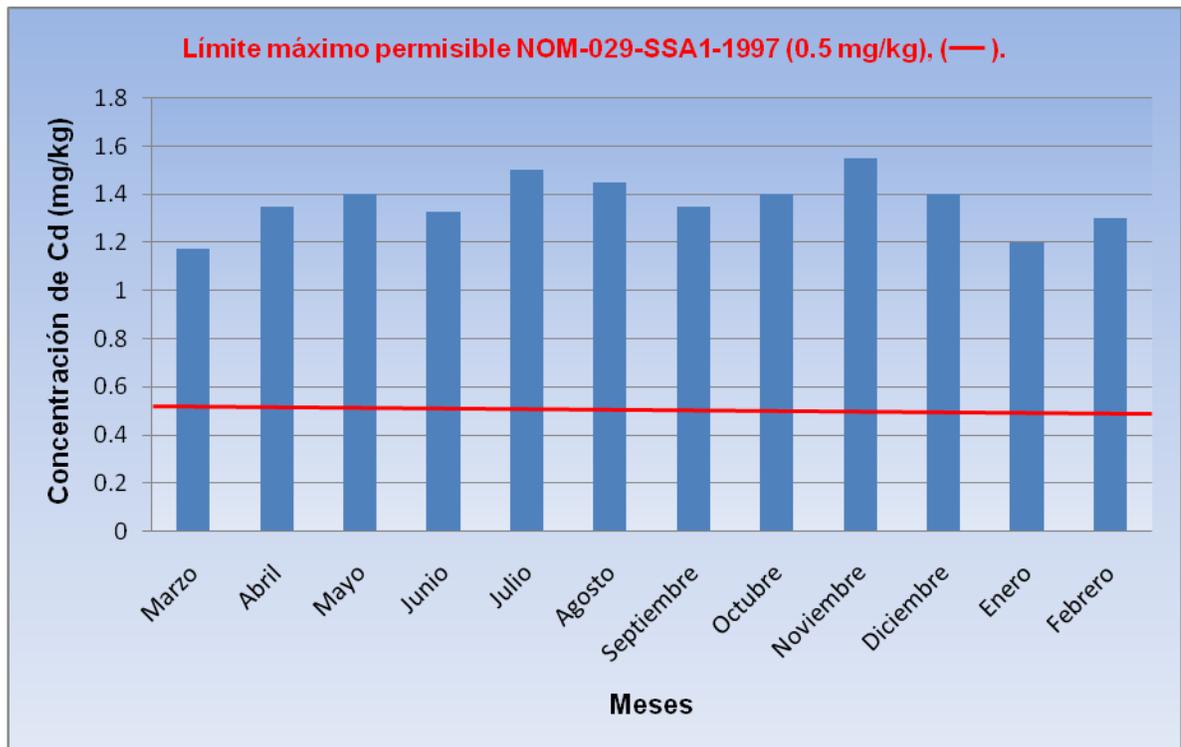


Figura 4. Concentración mensual de Cd en mg/kg en músculo de *Farfantepenaeus aztecus*.

De las tres épocas climáticas de la región, la de lluvias fue la que mayor concentración de Cd presentó, obteniéndose una concentración de 1.405 mg/kg. Posteriormente la época de nortes presentando una concentración de 1.362 mg/kg y en menor concentración la época secas de registrando 1.308 mg/kg, (Figura 5).

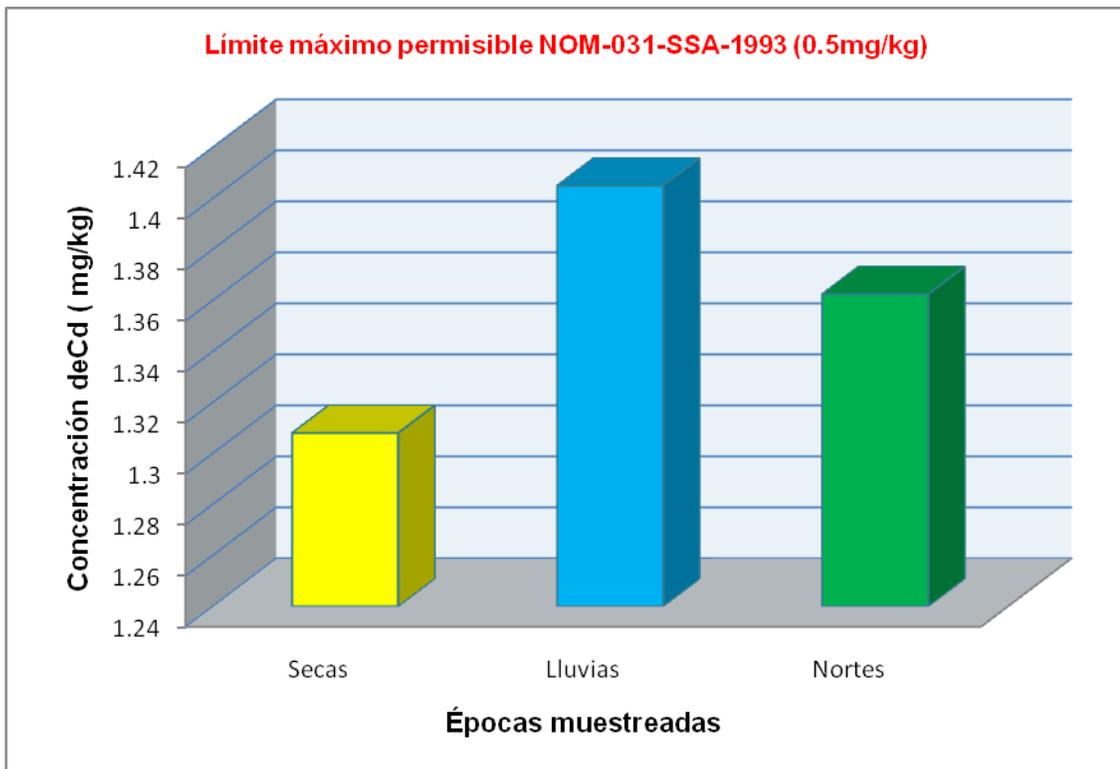


Figura 5. Concentración de Cd en mg/kg en músculo de *Farfantepenaeus aztecus* por épocas climáticas de la región.

El análisis estadístico de Kruskal-Wallis, dio a conocer que la concentración de Cd por épocas climáticas de la región (nortes, secas y lluvias), no presentó diferencias estadísticamente significativas entre éstas. ( $F_{2-9}=0.69$ ;  $p=0.527$ ).

### 6.1.2 Cromo (Cr).

El valor más alto de Cr en *F. aztecus* se encontraron en el mes de Febrero con una concentración de 2.325 mg/kg. La concentración más baja se presentó en el mes de Enero con una concentración de 0.3 mg/kg, (Figura 6). El valor promedio anual de este metal fue de 1.522 mg/kg.

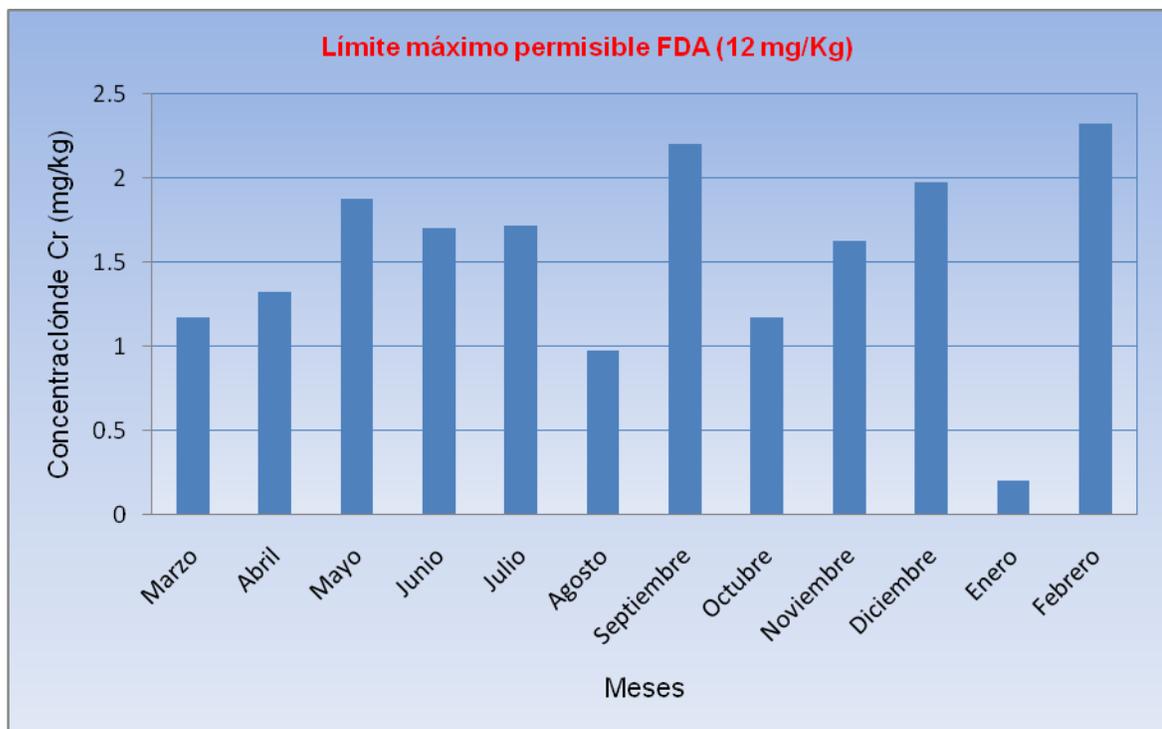


Figura 6. Concentración mensual de Cr en mg/kg en músculo de *Farfantepenaeus aztecus*.

De las tres épocas climáticas de la región, la de lluvias fue la que mayor concentración de Cr presentó con 1.554 mg/kg. Con una menor concentración de 1.531 mg/kg la época de nortes fue la que estuvo por debajo de la época de lluvias, finalmente la época de secas fue la que menor concentración presentó con 1.458 mg/kg, (Figura 7).

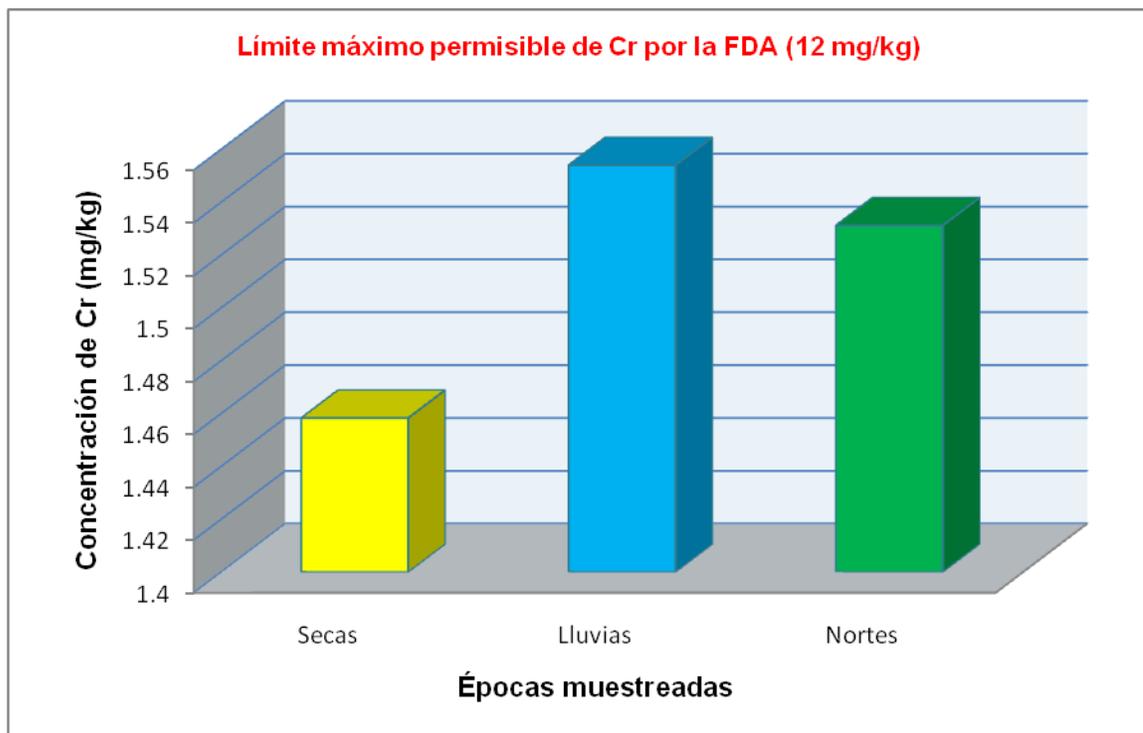


Figura 7. Concentración de Cr en mg/kg en músculo de *Farfantepenaeus aztecus* por épocas climáticas de la región.

El análisis estadístico de Kruskal-Wallis, determinó que la concentración de Cr por épocas climáticas de la región (nortes, secas y lluvias), no presentó diferencias estadísticamente significativas entre éstas. ( $F_{2-9}=0.12$ ;  $p=0.9795$ ).

### 6.1.3 Cobre (Cu).

El valor más alto de Cu en *F. aztecus* se encontró en el mes de Julio con una concentración de 18.625 mg/kg, la concentración más baja se presentó en el mes de Marzo obteniendo una concentración de 10.450 mg/kg, (Figura 8). El valor promedio anual de este metal fue de 14.480 mg/kg.

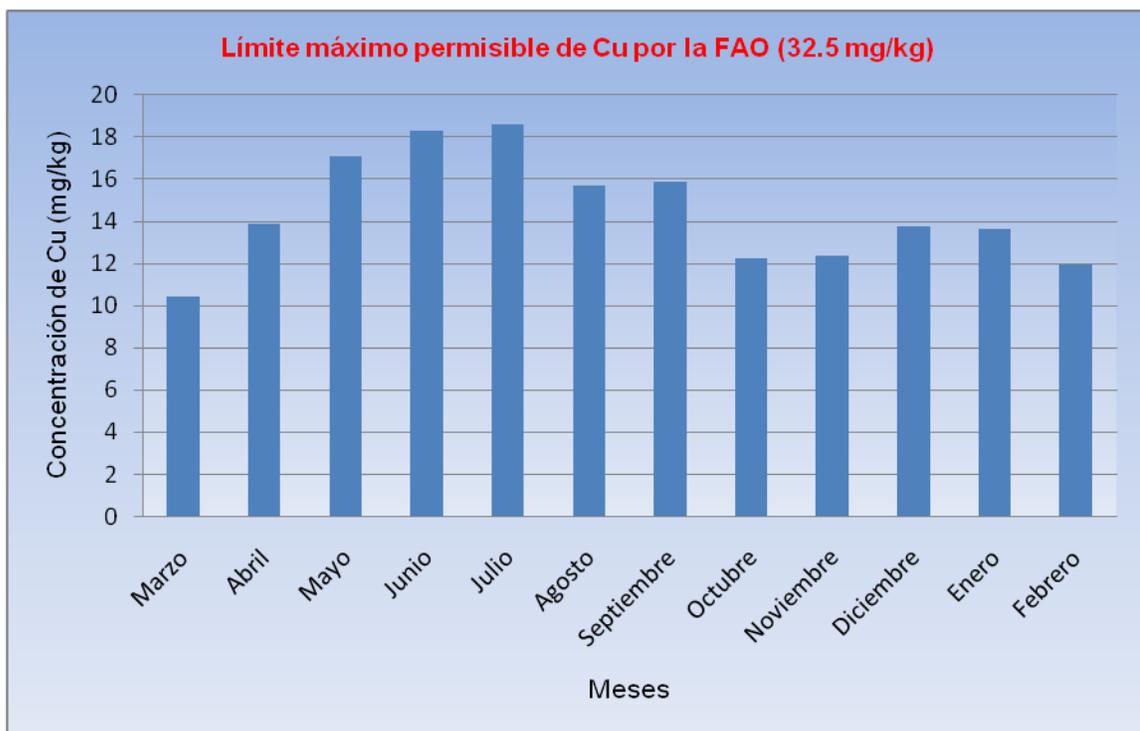


Figura 8. Concentración mensual de Cu en mg/kg en músculo de *Farfantepenaeus aztecus*.

De las tres épocas climáticas de la región, la de lluvias fue la que mayor concentración de Cu presentó, con una concentración de 16.15 mg/kg. Con un valor menor de 13.8 mg/kg, la época de secas fue la que estuvo por debajo de la época de lluvia. Finalmente la época de secas fue la que registró la menor cantidad Cu, con una concentración de 12.93 mg/kg (Figura 9)

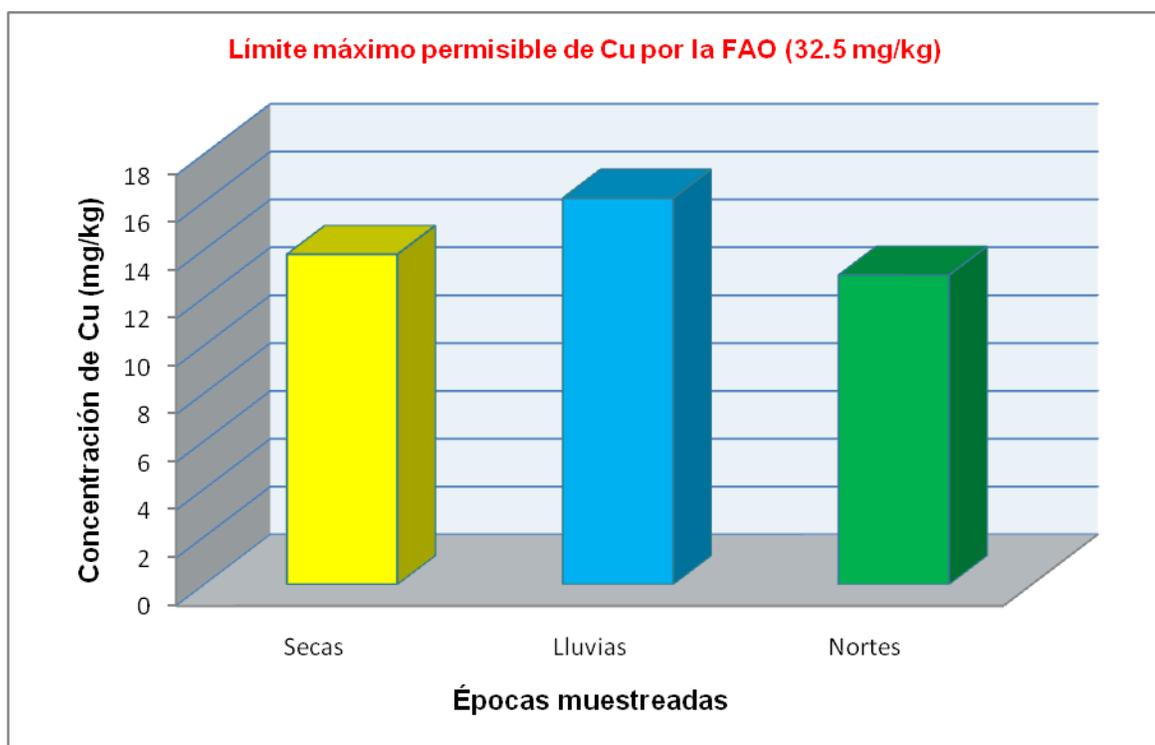


Figura 9. Concentración de Cu en mg/kg en músculo de *Farfantepenaeus aztecus* por épocas climáticas de la región.

El análisis estadístico de Kruskal-Wallis, determino que la concentración de Cu por épocas climáticas de la región (nortes, secas y lluvias), no presentó diferencias estadísticamente significativas entre estas ( $F_{2,7}=1.41$ ;  $p=0.1671$ ).

#### 6.1.4.- Plomo (Pb)

De las muestra analizadas, el plomo no fue detectado, no al menos la cantidad de detección mínima requerida (0.25 mg/kg) por el espectrofotómetro.

## 6.2.-Descripción fisicoquímica de la Laguna de Tampamachoco.

Los muestreos de los datos fisicoquímicos de salinidad, oxígeno disuelto y temperatura en los cuatro puntos de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz (La mata, Isla potreros, CFE y Pipiloya), mostraron los siguientes resultados.

### 6.2.1.- Salinidad.

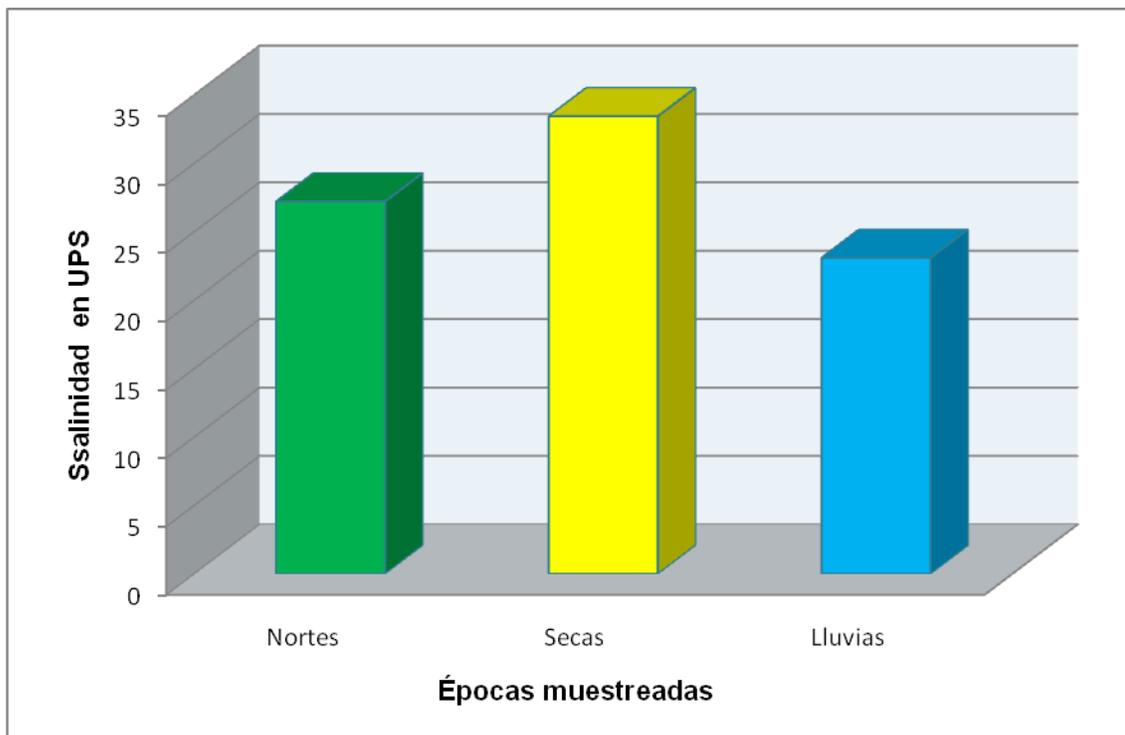
La mayor concentración de salinidad del punto de La mata, se presentó en el mes de Mayo con 34.79 UPS, y la menor concentración fue en el mes de Septiembre con 5.45 UPS. El valor promedio anual para este punto fue de 24.3435 UPS (Anexo 1).

En el punto de muestreo de Isla potreros sur, la mayor concentración de salinidad se presentó en el mes de Mayo (34.58 UPS) y la menor concentración fue en el mes de Septiembre (10.2 UPS). El valor promedio anual fue de 27.0241 UPS.

En cuanto al punto de muestreo de CFE, la mayor concentración de salinidad fue en el mes de Abril (35.48 UPS), y la menor concentración fue en Septiembre (11.4 UPS). El valor promedio anual fue de 27.9775 UPS.

Finalmente en el punto de muestreo de Pipiloya, la mayor concentración de salinidad fue en el mes de Abril (35.72 UPS) y la menor fue en el mes de Septiembre (11.6 UPS). El valor promedio anual fue de 28.0325 UPS (Anexo 1)

De acuerdo a los valores de salinidad por épocas climáticas de la región, la mayor concentración de salinidad se presentó en la época de secas con una concentración promedio de 33.44 UPS, y la concentración con menor salinidad se registró en la época de lluvias con 23.09 UPS, (Figura 10).



. Figura 10. Concentraciones de salinidad en UPS por épocas climáticas de la región de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz

De acuerdo a la concentración promedio de salinidad por puntos de muestreos, la mayor concentración se presentó en el punto de Pipiloja con una salinidad de 28.0325 UPS, y la menor concentración se presentó en el punto de La mata de Tampamachoco con una salinidad de 24.3425 UPS (Figura 11).

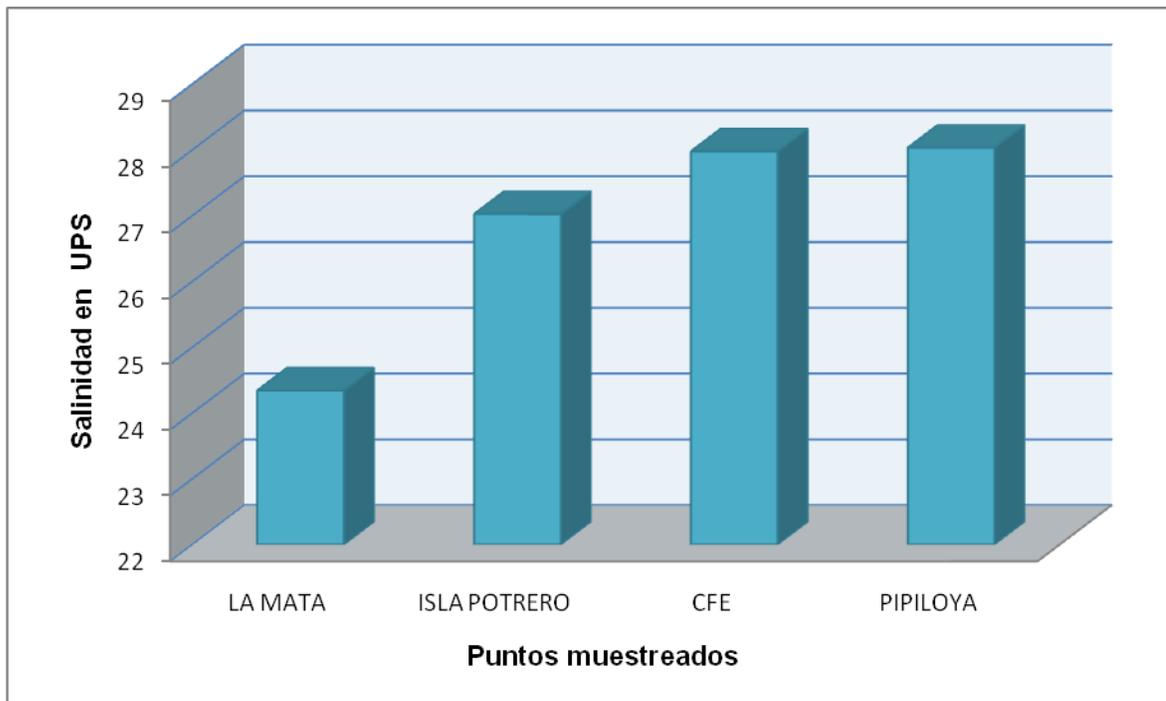


Figura 11. Concentraciones promedio de salinidad en UPS de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

### 6.2.2.- Oxígeno disuelto

La mayor cantidad de oxígeno disuelto del punto de La mata, se presentó en el mes de Marzo con 6.36 mg/L, y la menor cantidad fue en el mes de Julio con 4.28 mg/L. El valor promedio anual de oxígeno disuelto para este punto fue de 5.3366 mg/L (Anexo 2).

En el punto de muestreo de Isla potreros sur, la mayor cantidad de oxígeno disuelto se presentó en el mes de Marzo (6.28 mg/L) y la menor cantidad fue en el mes de Julio (4.22 mg/L). El valor promedio anual fue de 5.3166 mg/L.

En cuanto al punto de muestreo de CFE, la mayor cantidad de oxígeno disuelto fue en el mes de Marzo (6.9 mg/L), y la menor concentración fue en el mes de Septiembre (3.52 mg/L). El valor promedio anual fue de 5.01 mg/L.

Finalmente en el punto de muestreo de Pipiloya, la mayor cantidad de oxígeno disuelto se registró en el mes de Abril (7.2 mg/L) y la menor fue en el mes de Septiembre (1.1 mg/L). El valor promedio anual fue de 4.3725 mg/L (Anexo 2)

De acuerdo a los valores de oxígeno disuelto por épocas climáticas de la región, la mayor cantidad de éste se presentó en la época de secas con una cantidad promedio de 5.7 mg/L, y la cantidad con menor oxígeno disuelto se registró en la época de lluvias con 4.58 mg/L (Figura 12).

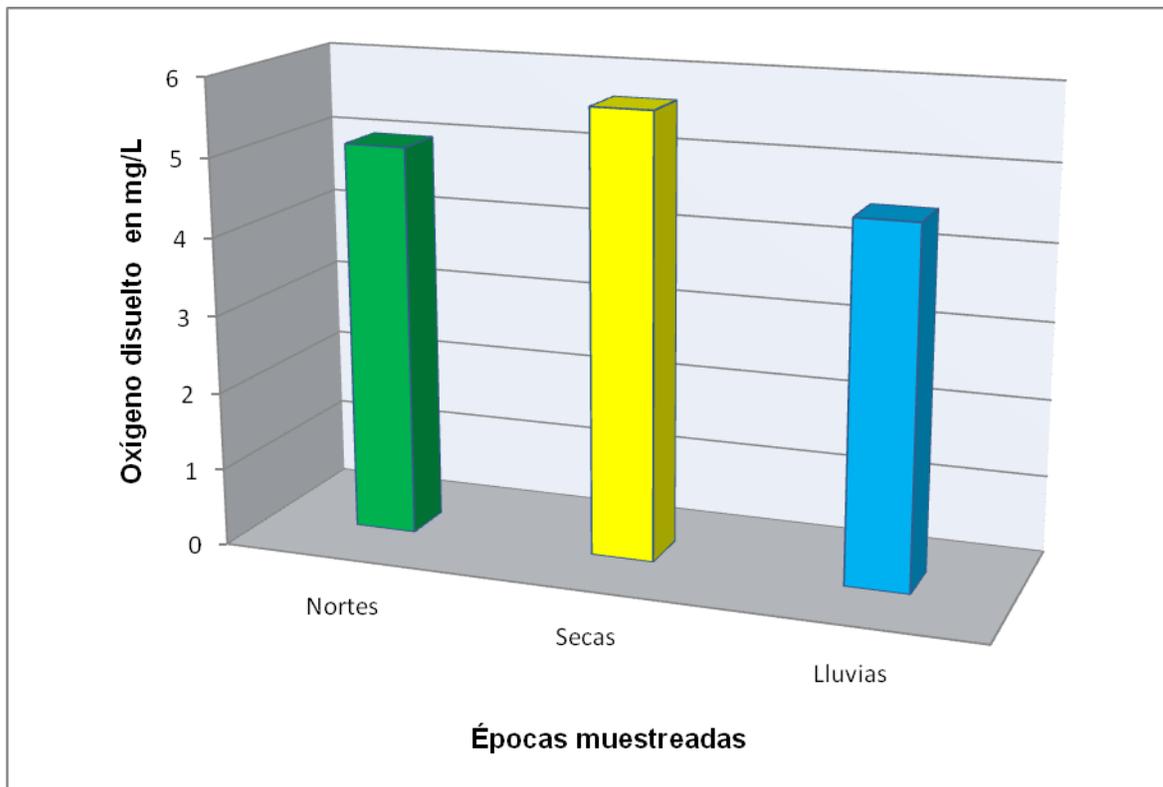


Figura 12. Concentraciones de oxígeno disuelto en mg/L por épocas climáticas de la región de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

En cuanto al oxígeno disuelto por puntos de muestreo, el valor máximo se registró en el punto de La mata con una cantidad de oxígeno disuelto de 5.3366 mg/L, y el valor mínimo se registró en el punto de Pipiloya con 4.3725 mg/L (Figura 13).

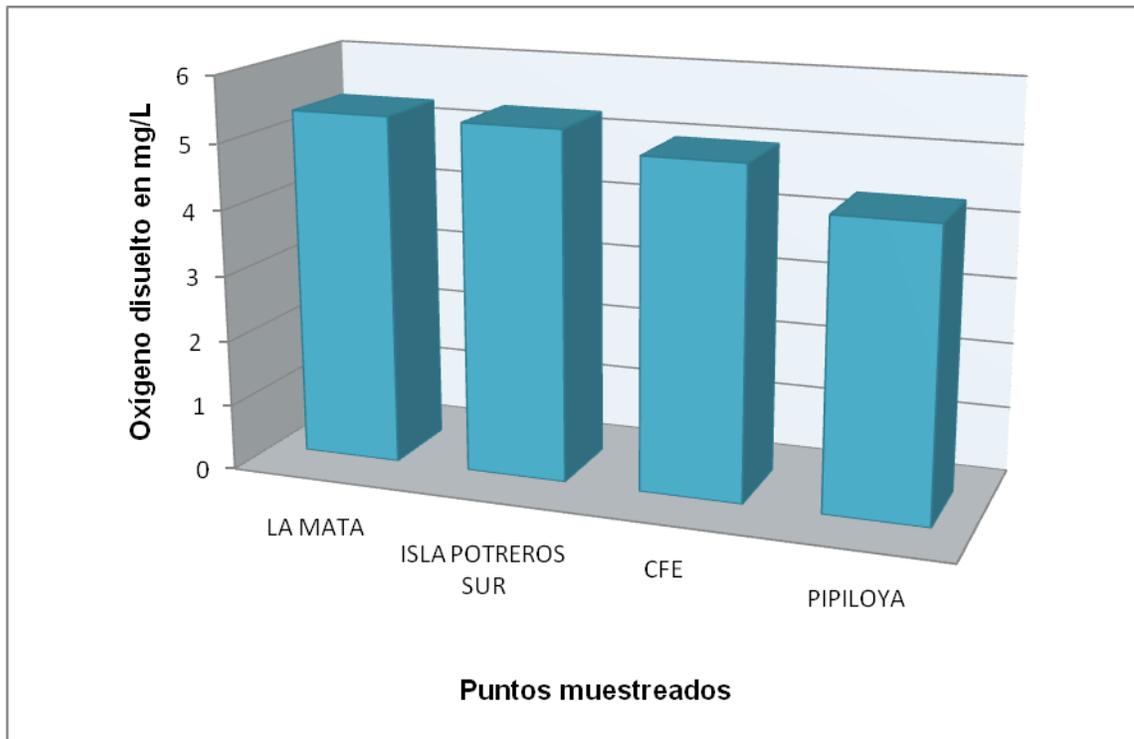


Figura 13. Concentraciones promedio de oxígeno disuelto de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

### 6.2.3.- Temperatura

El valor más alto de temperatura del punto de La mata, se presentó en el mes de Agosto con un registro de 27.41°C, y la menor temperatura se registró en el mes de Febrero con 17.94 °C. El valor promedio anual de temperatura para este punto fue de 24.57 °C (Anexo 3).

En el punto de muestreo de Isla potreros sur, el valor más alto de temperatura se registró en el mes de Septiembre (28.41 °C), y la menor temperatura se registró en el mes de Febrero (21.37 °C). El valor promedio anual fue de 24.915 °C.

En cuanto al punto de muestreo de CFE, el mayor registro de temperatura fue en el mes de Junio (29.73 °C), y la menor fue en el mes de Febrero (16.92 °C). El valor promedio anual fue de 25.68 °C.

Finalmente en el punto de muestreo de Pipiloya, la mayor temperatura se registró en el mes de Junio (31.54) y la menor fue en el mes de Febrero (17.85 °C). El valor promedio anual fue de 26.10 °C (Anexo 3).

De acuerdo a los valores de temperatura obtenidos por épocas climáticas de la región, la mayor temperatura registrada se presentó en la época de lluvias con un valor promedio de 28.00 °C, mientras que la menor temperatura se registró en la época de nortes con un valor 20.94°C, (Figura 14).

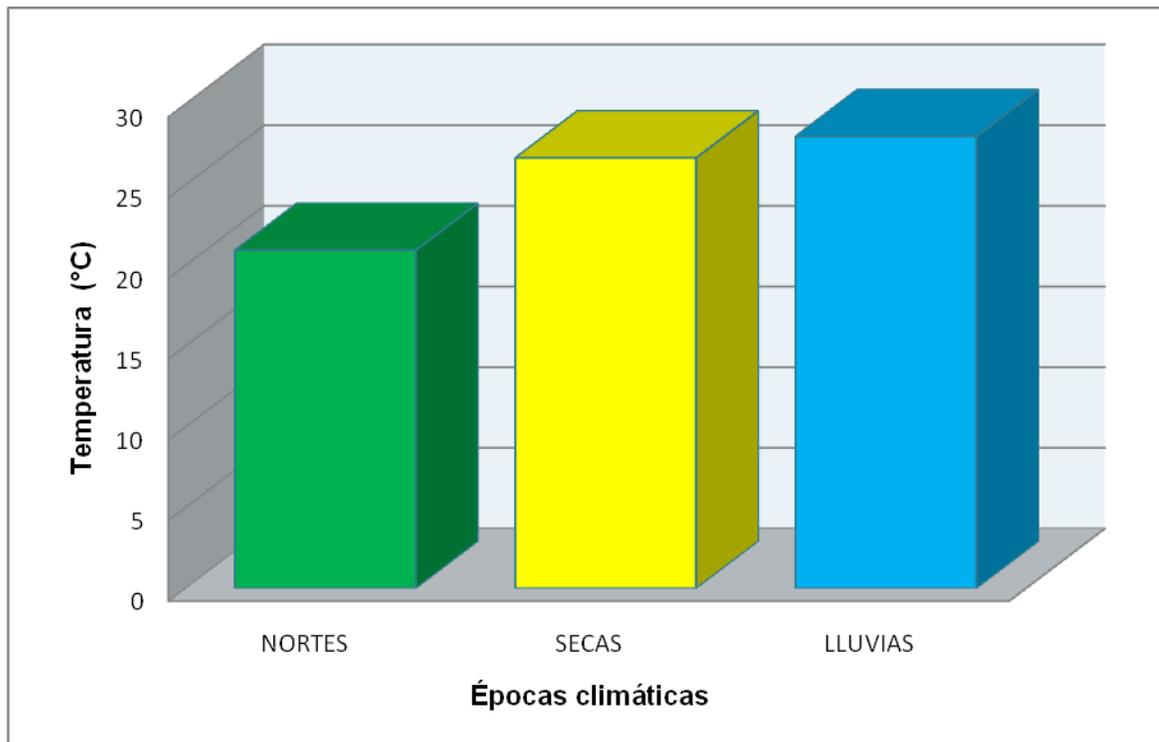


Figura 14. Concentraciones de temperatura en °C por épocas climáticas de la región de la Laguna de Tampamachoco. Veracruz.

En cuanto a la temperatura por puntos de muestreos, el valor máximo se registró en el punto de Pipiloya, con una temperatura de 26.105 °C y el valor mínimo se registró en el punto de La mata con una temperatura de 24.5725 °C (Figura 15).

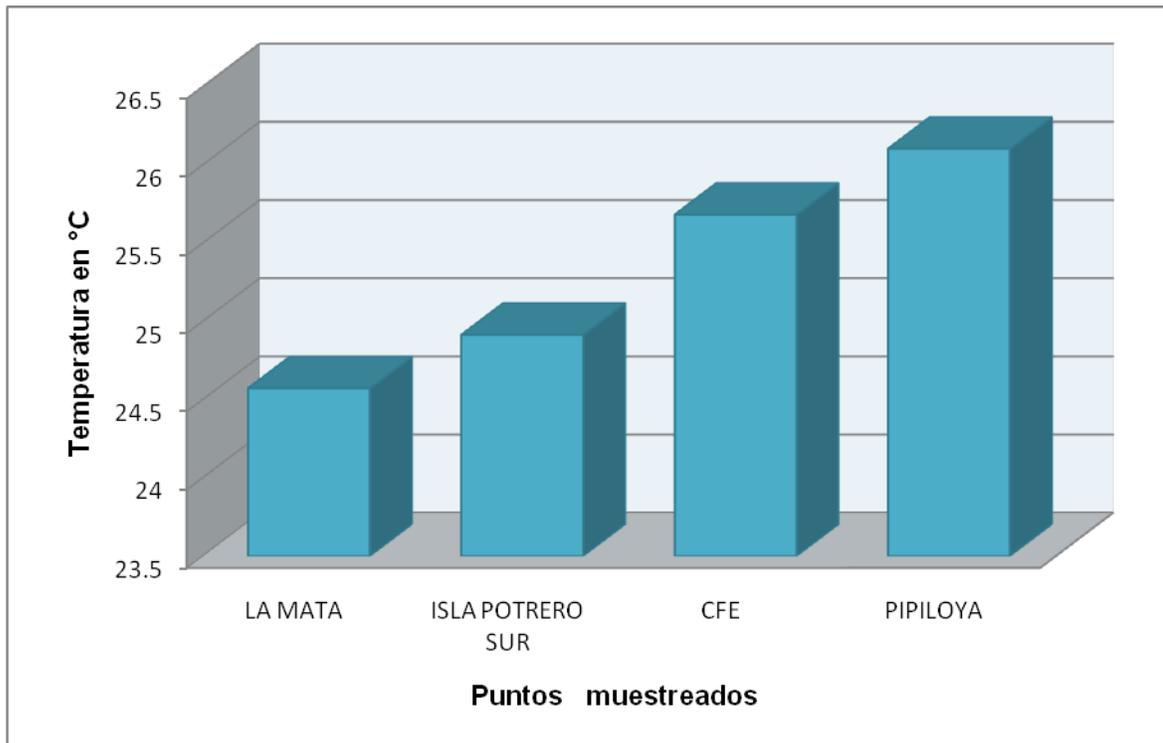


Figura 15. Concentraciones promedio de temperatura de los cuatro puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz

## 7.- DISCUSIÓN

### Cadmio

El cuerpo humano no necesita Cd en ninguna forma y en dosis pequeñas es muy dañino, ya que produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón y de próstata (Valdez, 1999). Además, la presencia de Cd en los ambientes acuáticos disminuye la capacidad de sobrevivencia de las larvas y estadios juveniles de peces, crustáceos y moluscos (Villanueva y Botello, 1992).

De acuerdo a las Normas Mexicanas, los límites permisibles para el Cd en crustáceos no deben excederse de 0.5 mg/kg (NOM-029-SSA1-1993). De las muestras analizadas, todas sobrepasaron los límites establecidos, encontrando valores que van de 1.17 mg/kg hasta 1.55 mg/kg. Esto quiere decir que los camarones de la laguna de Tampamachoco no son aptos para el consumo humano, debido a la concentración de Cd que estos organismos presentan.

Las elevadas concentraciones de Cd encontradas en esta investigación, podrían estar relacionadas con el vertido de aguas residuales no tratadas, pesticidas, fertilizantes, efluentes y materia orgánica en suspensión que son vertidas hacia la laguna. Forsther y Wittmann, (1979), mencionan que los desechos domésticos constituyen la fuente más grande de metales en ríos y lagunas. En Tuxpan, la mayoría de los desechos doméstico son vertidos hacia el río y la laguna, por lo

que ésta puede ser otra causa por la cual las concentraciones de Cd en la laguna son superiores a lo establecido por las normas mexicanas.

Otra actividad que podría estar desechando Cd hacia la Laguna de Tampamachoco, puede estar asociada a las industrias dedicadas a la construcción de plataformas petroleras, quienes utilizan acero y otras aleaciones, así como pigmentos en pinturas para su construcción, y éstas liberan Cd (Páez-Osuna, 2005).

En la actividad agrícola, principalmente en el cultivo de maíz, chile, frijol y naranja se utilizan grandes cantidades de agroquímicos, principalmente fertilizantes de fosfato, los cuales contienen Cd y con el tiempo de lixiviación del suelo, son transportados por la escorrentía hacia las lagunas y ríos (Forsther y Wittmann, 1979). En este caso en Tuxpan y sus municipios vecinos, estos cultivos son comunes y por lo tanto estas actividades podrían estar desechando cantidades de Cd hacia la laguna.

El valor promedio de Cd encontrado en esta investigación (1.36 mg/kg) es superior a los reportado por (Robles-Hernández *et al.*, 2008) en especie *F. aztecus* (1.05 mg/kg) colectados en la laguna madre, Tamaulipas y a lo reportado por (Márquez, *et al.*, 2008) en *Penaeus schmitti* (0.065 mg/kg) colectados en la laguna de Unare, Venezuela. La diferencia entre las concentraciones encontradas por (Robles-Hernández *et al.*, 2008) y la presente no son muy diferentes, sin embargo, si se

nota una clara diferencia a las concentraciones encontradas por (Márquez, *et al.*, 2008), siendo esta última muy inferior a la reportada por Robles-Hernández, *et al.*, (2008) y la presente. Esto podría deberse a la zona de captura, ya que en Venezuela, la industrialización es sumamente menor que la existente en Tamaulipas y Veracruz.

La concentración promedio del presente (1.36 mg/kg) es inferior a lo reportado por (Vázquez- Saucedo *et al.*, 2005) en ostiones *C. virginica* (2.27mg/kg) colectados en la laguna de San Andrés Aldama, Tamaulipas. La diferente concentración de Cd en los dos trabajos, podría ser a las diferentes especies muestreadas, puesto que estos organismos presentan diferentes hábitos de vida, así como diferente forma de bioacumular los metales (Farkas *et al.*, 2003).

De acuerdo a las épocas climáticas de la región, éstas no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las tres. Sin embargo, la temporada de lluvias fue la que mayor concentración de Cd presentó, obteniéndose un valor promedio de 1.405 mg/kg. Posteriormente la época de secas presentando un valor de 1.308 mg/Kg y en menor concentración la época de norte registrando un valor promedio de 1.25 mg/kg.

La mayor concentración de Cd en la época de lluvias pudiera estar relacionada con la menor concentración de salinidad registrada en esa época, debido al gran aporte de agua dulce por parte del río Tuxpan y las escorrentías.

De acuerdo Hansen *et al.*, (1992) y Raimbow *et al.*, (1993), la salinidad modifica la captación de los metales pesados; bajas salinidades, incrementan la biodisponibilidad y la incorporación de los metales, debido a los cambios en la especiación química de éstos. Por lo mencionado anteriormente, y al registrarse la menor salinidad en la épocas de lluvias, la concentración de Cd en *F. aztecus* fue ligeramente mayor en lluvias que para nortes y secas.

Bjerregaard y Depledge, (1994), observaron que en *Carcinus maeñas*, *Mytilus edulis* y *Littorina littorea*, la captación y la bioacumulación del cadmio es mayor en bajas salinidades. El Cd se encuentra en el agua en forma de cloruro y al disminuir la salinidad incrementa la concentración en forma libre y por lo tanto la disponibilidad de éste (Bjerregaard y Depledge, 1994). Tomando en cuenta lo anterior, coincidió con la presente investigación, ya que al ser la época de lluvias donde se presentara la menor salinidad, fue la época donde se presentó la mayor concentración de Cd.

En una investigación realizada por García, (2009) en camarones adultos de la especie *F. notialis* colectados en el Golfo de Ana María, Cuba. Obtuvo como resultados mayores concentraciones de Cd en épocas de lluvias (0.3 mg/kg) que para secas (0.1 mg/ kg). Estos resultados coincidieron con la presente investigación, al ser la época de lluvias (1.405 mg/kg) la de mayor concentración de Cd, y en menor concentración la época de nortes (1.308 mg/kg) y secas (1.25 mg/kg). Aunque las concentraciones más altas se dieron en la época de lluvias, se

nota una clara diferencia entre las concentraciones obtenidas en ambos trabajos, siendo mayores para la presente investigación. La diferencia de estas concentraciones pudiera estar influenciada por las diferentes zonas de estudio, así como las diferentes etapas de vida de las dos especies.

La investigación realizada por Shahadat y Sharif, (2001) en *Penaeus monodon* y *Panulirus polyphagus* en la Bahía de Vengala, Bangladesh dieron a conocer que la mayor concentración de Cd se presentó en la época de secas (0.3 mg/kg, 0.4 mg/kg) y en menor concentración lluvias (0.2 mg/kg, 0.3 mg/kg) y nortes (0.2 mg/kg, 0.3 mg/kg), siendo diferentes estos valores a los registrados en este trabajo. La diferencia entre la concentración de las épocas climáticas de ambas investigaciones pudiera estar influenciado por los diferentes ecosistemas muestreado; *P. monodon* y *P. polyphagus* en alta mar y *F. aztecus* en una laguna costera.

## Cromo

Las Normas Oficiales Mexicanas aún no han establecido un límite máximo de Cr el cual puedan contener los crustáceos, por lo que se tomó como referencia el límite establecido por instituciones americanas de Cr en crustáceos (FDA, 1993). El límite máximo que establece la FDA de Cr en crustáceos es de 12 mg/kg. De los valores obtenidos en esta investigación, ninguna de las muestras superó lo

establecido por la FDA, la mayoría de las muestras estuvieron por debajo de dicho valor. Esto significa que la concentración de Cr encontrado en los camarones de la laguna de Tampamachoco no presenta un riesgo para los consumidores de dichos organismos.

En Tuxpan Veracruz, y particularmente cerca de la laguna de Tamapachoco, se encuentran asentadas instalaciones petroleras, termoeléctrica, empresas dedicadas a construcción de plataformas petroleras, y asentamientos humanos. De acuerdo a Forsther y Wittmann, (1979), todas las actividades realizadas por las instalaciones antes mencionadas liberan Cr en cantidades considerables. Por lo tanto era de esperar encontrar concentraciones elevadas de Cr en *F. aztecus*. Sin embargo la concentración de Cr registrada en la presente investigación fue muy baja y de manera positiva, pues este metal está dentro de los límites aceptables para la normatividad americana (FDA, 1993). La baja concentración de Cr encontrada en *F. aztecus*, podría deberse a la menor capacidad que el Cr presenta para incorporarse en los organismos, así como la capacidad que pudiera tener esta especie para desechar este metal. Otra causa por la cual no se encontraron concentraciones elevadas de Cr, podría ser que dichas empresas no estén liberando sus desechos hacia la laguna y de esta manera la laguna de Tampamachoco no esta tan contaminada por Cr.

El valor promedio de Cr obtenido en el presente trabajo (1.5225 mg/kg) están por debajo a los valores promedios reportados Shahadat y Sharif, (2001) en los

crustáceos *Penaeus monodon* (2.13 mg/kg) y *Panulirus polyphagus* (2.7 mg/kg) colectados en la Bahía de Véngala en las costas de Bangladesh. Así mismo están muy por debajo a lo reportado por Ayse y Levent, (2007) en *Penaeus semisulcatus* (6,72 mg/kg) colectados en el norte del mar Mediterráneo en la Bahía de Iskenderun, Turquía.

Comparando los valores del presente estudio (1.5225 mg/kg) con la investigación de Pérez, *et al.*, (2007) en *Callinectes ornatus* (1.26 mg/kg) colectados en las lagunas de Bocaripo y Chacopata, en el estado Sucre Venezuela. La concentración media reportada en *Callinectes ornatus*, fue inferior a la reportada en *F. aztecus* estudiados en esta investigación.

En la investigación realizada por Rosas *et al.*, (1983) en ostiones *Crassostrea virginica* de la Laguna de Tampamachoco, reportaron una concentración media de Cr de 0.89 mg/kg. El valor reportado por Rosas *et al.*, (1983) fue inferior a lo reportado en la presente (1.5225 mg/kg). Posiblemente la mayor concentración encontrada en *F. aztecus* se deba a que el trabajo de *C. virginica* se realizó 27 años atrás y posiblemente la laguna de Tampamachoco se encontraba menor contaminada que actualmente.

Villanueva y Botello, (2005) realizaron estudios de Cr en Jaiba *Callinectes similis* colectadas en la laguna del Yucateco en Tabasco, las concentraciones media

reportadas para esta especie fueron de 0.46 mg/kg. Dicho valor fue inferior a lo reportado en la presente investigación (1.522 mg/kg).

De acuerdo a las concentraciones de Cr por épocas climáticas de la región, éstas no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las tres. Sin embargo, la temporada de lluvias fue la que mayor concentración de Cr presentó, obteniéndose un valor promedio de 1.554 mg/kg. Posteriormente la época de nortes presentando un valor de 1.531 mg/kg y en menor concentración la época de secas registrando un valor promedio de 1.262 mg/kg.

La mayor concentración de Cr en la época de lluvias, al igual que el Cd, pudiera estar relacionada con la menor concentración de la salinidad en esa época, debido al aporte de agua dulce por parte del río Tuxpan y las escorrentías en dicha época.

De acuerdo a los estudios realizados por Hansen *et al.*, (1992) y Raimbow *et al.*, (1993), mencionan que bajas concentraciones de salinidad, incrementan la biodisponibilidad y la incorporación de los metales a los organismos; tal y como se presentó en esta investigación, una menor concentración de salinidad y una mayor concentración de Cr en la época de lluvias. Sin embargo, se tendrían que hacer bioensayos para poder corroborar si el Cr al igual el Cd se incorpora a los organismos a bajas salinidades.

Shahadat y Sharif, (2001) realizaron una investigación en camarones adultos de la especie *Penaeus monodon* colectados en la Bahía de Véngala en Bangladesh. La mayor concentración de Cr la reportaron en la época de secas (2.9 mg/kg), seguido de lluvias (1.8 mg/kg) y nortes (1.7 mg/kg). La mayor y menor concentración de Cr se presentaron en épocas diferentes a las de la presente, siendo la época de lluvias la de mayor concentración (1.554 mg/kg), en menor concentración las épocas de nortes (1.531 mg/kg) y secas (1.45 mg/kg).

En el trabajo realizado Guzmán *et al.*, (2005) en *Crassostrea virginica* colectados en la Laguna de Alvarado, reportaron mayores concentraciones de Cr en la época de secas 13.94 mg/kg, seguido de nortes 8.68mg/kg y en menor concentración las lluvias 7.74 mg/kg. Los valores obtenidos por (Guzmán *et al.*, 2005) por épocas climáticas son diferentes y superiores a los de la presente investigación, siendo lluvias (1.554 mg/kg) la de mayor concentración, seguido de nortes (1.531 mg/kg) y secas (1.458 mg/kg). Esto podría deberse a que la Laguna de Alvarado presenta más afluentes de ríos y posiblemente los niveles de este metal sean mayores en la laguna, y por lo tanto los organismos presentarían mayores cantidades de este metal que en la presente.

## Cobre

El Cu en bajos niveles es un elemento esencial tanto para las plantas como para los animales incluyendo al hombre, debido a que es un elemento requerido por los sistemas biológicos como componentes estructurales y catalíticos de proteínas y enzimas; así como, cofactores esenciales para el crecimiento y el desarrollo normal de los organismos (NCR, 1980). Incluso la deficiencia de Cu en los humanos puede producir anemia asociada a problemas en la absorción de hierro, desequilibrios mentales o nerviosos, problemas en los huesos y sistema cardiovascular (Van Campen, 1991). De tal manera que las concentraciones de Cu encontradas en la presente investigación son normales y necesarias para el crecimiento y desarrollo de los organismos estudiados y no presenta un riesgo para ellos ni los consumidores de los mismos. En niveles excesivos, el Cu puede producir efectos nocivos tales como irritación de la nariz, la boca y los ojos, vómitos, diarrea, calambres estomacales, náusea, úlceras gastrointestinales, necrosis hepática, daños renales e incluso la muerte (ATSDR, 2004).

Las Normas Oficiales Mexicanas aún no han establecido un límite máximo de Cu el cual puedan contener los crustáceos ni otros organismos, por lo que se tomó como referencia el límite establecido por instituciones internacionales para moluscos (FAO, 1983) debido a que aun no tienen un límite establecido para crustáceos. El límite máximo que establece la FAO de Cu en moluscos es de 32.5 mg/kg. Las concentraciones de Cu detectadas en el presente trabajo muestran

que los valores obtenidos se encuentran muy por debajo de lo establecidos por dicha institución. El valor máximo obtenido fue de 18.625 mg/kg, esto significa que la concentración de Cu encontrado en los camarones de la Laguna de Tampamachoco no presenta un riesgo para los consumidores de dichos organismos.

Las concentraciones de Cu encontradas en *F. aztecus* del presente estudio fueron superiores, a las concentraciones de Cd y Cr, sin embargo los valores registrados no sobrepasaron el límite máximo permisible por normas internacionales (FAO, 1983). La mayor concentración de Cu en *F. aztecus*, se debe a que este es fácilmente excretado por ser un elemento esencial y requerido por los organismos (Harris, 1991), por lo tanto tiende a encontrarse en mayor concentración que el Cd y Cr. Las concentraciones de Cu desechadas por las actividades antropogénicas en la región, no son tan elevadas con lo reportado por otros autores de otros países, así mismo no presentan riesgo para la especie *F. aztecus* ni los consumidores de los mismos.

Ayse y Levent, (2007), realizaron una investigación en camarones adultos *Penaeus semisulcatus* colectados en alta mar de la Bahía de Iskenderun, Turquía, la concentración promedio de Cu encontrada fue de 27.175 mg/kg. La concentración reportada por Ayse y Levent, (2007) es superior a lo encontrado en *F. aztecus* estudiados en esta investigación (14.489 mg/kg).

En una investigación realizada por Frías- Espericueta *et al.*, (2009) en camarones juveniles *Litopenaeus vannamei* de 6 lagunas costeras de Sinaloa, reportaron concentraciones promedio de Cu de 16.2 mg/kg. Dicha concentración de Cu fueron superiores a lo reportado en e *F. aztecus* estudiados en esta investigación (14.489 mg/kg).

Al comparar los estudios realizado por Ayse y Levent, (2007), Frías-Espericueta, (2009) y el presente, se nota una mayor concentración en el trabajo de Eyse y Levent, (2007). Esta diferencia podría deberse a que los organismos estudiados fueron adultos y los organismos estudiados por Frías-Espericueta, (2009) y el presente fueron organismos juveniles.

De acuerdo a las concentraciones de Cu por épocas climáticas de la región, éstas no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las tres. Sin embargo, la temporada de lluvias fue la que mayor concentración de Cu presentó, obteniéndose un valor promedio de 16.15 mg/kg. Posteriormente la época de secas presentando un valor de 13.8 mg/kg y en menor concentración la época de norte registrando un valor promedio de 12.93 mg/kg.

La mayor concentración de Cu en la época de lluvias pudiera estar relacionada con la mayor temperatura registrada en esa época. De acuerdo a los estudios realizados por Rainbow *et al.*, (1993) mencionan que los factores del medio, influyen notoriamente en la tasa de absorción y captación de ciertos metales,

ejemplo de ello es la duplicación de la captación de Cu en el camarón *Lysmata seticaudata* al aumentar la temperatura 10°C. Aunque las diferencias de temperatura entre nortes, secas y nortes no fue de 10°C, si se presentó mayor concentración de Cu en la época de lluvias, seguida de secas y nortes, tal y como se comportó la temperatura por épocas climáticas.

García, (2009) en su trabajo de metales pesados en *Farfantepenaeus notialia* reporta concentraciones mayores de Cu en época de secas (6.14 mg/Kg) que en épocas de lluvias (menores a 1mg/Kg), sin embargo en esta investigación las concentraciones por épocas climáticas se comportaron de manera diferente, siendo la época de lluvias la que mayores concentración de Cu presentó (16.15 mg/kg) y menores las épocas de secas (13.8 mg/kg) y nortes (12.78 mg/kg). Las diferencias encontradas en las épocas climáticas podrían ser debido a que los organismos colectados por García, (2009) fueron organismos adultos y colectados en el mar, mientras que los de la presente fueron colectados en una laguna costera, así mismo la mayor concentración podría deberse a la misma razón.

En el estudio realizado por Goldaracena, (2007) en *F. aztecus* capturados en la laguna de San Andrés, Tamaulipas, reportó mayores concentraciones de Cu en épocas de secas (37.9 mg/Kg) que para lluvias (35.7 mg/Kg). Estos valores por épocas climáticas son diferentes y mayores a los reportados en la presente, ya que la época con mayor concentración de Cu fue en lluvias (16.15 mg/Kg), seguido de secas (13.8 mg/kg) y nortes (12.93 mg/Kg).

## Plomo

De acuerdo a la Normatividad mexicana, los límites permisibles para el Pb en crustáceos no deben excederse de 1 mg/kg (NOM-029-SSA1-1993). De las muestras analizadas en *F. aztecus*, ninguna de estas mostró la presencia de este metal, no al menos la cantidad mínima requerida (0.25 mg/kg) de acuerdo a la sensibilidad del espectrofotómetro de absorción atómica. Por lo que este elemento no fue detectado. Sin embargo, este metal podría encontrarse en concentraciones menores a 0.25 mg/kg, por lo que sería de gran importancia determinar el Pb con un generador de hidruros, aparato que se utiliza para determinar metales en concentraciones sumamente pequeñas inferiores a 0.025 mg/kg (GBC, 2005).

La toxicidad de los compuestos metálicos pueden comportarse de dos maneras diferentes en la fisiología del ser humano, esenciales para la vida (Cu), pero tóxicos a partir de determinadas concentraciones, y los metales que poseen efectos fisiológicos (Pb, Cd y Cr), resultando tóxicos en concentraciones sumamente pequeñas (Repetto, 1995).

Es por eso que instituciones gubernamentales de diferentes países, mediante bioensayos han establecido normas con niveles permisibles de algunos metales en los organismos. En la presente investigación la concentración de Cu y Cr fueron sumamente inferiores a los valores de normas nacionales e internacionales (NOM, 1993; FAO, 1983).

Sin embargo el Cd, que es un metal sumamente tóxico en concentraciones muy bajas, se encontró en cantidad superior a lo establecido a las normas mexicanas. Por ello, es de suma importancia biomonitoriar este elemento con especies de interés comercial y de consumo humano, con el fin de evitar que este elemento se incorpore a nuestro organismo y pueda ocasionar serios problemas.

Los camarones estudiados en el presente estudio, presentaron Cd en concentraciones superiores a lo establecido a las normas mexicanas e internacionales, por lo que puede ser riesgoso el consumirlos, recordando que algunos efectos del cadmio en los humanos es que se incorpora en los tejidos blandos como el riñón e hígado, y ocasiona el mal funcionamiento de éstos, así como también es causante de la anemia (Hernández-Peñalver *et al.*, 1999).

Dentro de los efectos negativos de otros metales pesados como el Pb, Cr y Cu, se encuentran daños al sistema nervioso, pérdida de la memoria, inestabilidad emocional, daños pulmonares, alteraciones digestivas, alteraciones renales, insuficiencia cardíaca, así como cáncer en diferentes partes del cuerpo e inclusive la muerte (Aloj *et al.*, 1986; Fergusson, 1990).

## 8.- CONCLUSIONES

- Las concentraciones de Cd en los músculos de los postlarvas de *F. aztecus* sobrepasaron los límites máximo establecidos por la NOM-029-SSA1-1993, por lo que puede ser riesgoso consumir estos organismos.
- Las concentraciones de Cr y Cu en *F. aztecus* fueron inferiores a los límites máximos establecidos por la FDA y la FAO, mostrando que no presentan riesgo para estos organismos.
- El elemento que mayor concentración se presentó en el músculo de los camarones fue el Cu, probablemente se deba, a que éste es un elemento esencial requerido para los organismos.
- El plomo no fue detectado, esto debido a que no se encontró la cantidad mínima que el espectrofotómetro podría detectar.
- No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las épocas climáticas de la región para ninguno de los elementos.

- Aunque no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las épocas climáticas de la región, la época de lluvias fue la que ligeramente registró valores más altos para todos los elementos y, por lo tanto, se concluyó que en la época de lluvias los escurrimientos transportan más contaminantes de metales pesados. Sin embargo, el efecto de escurrimiento no es igual para cada metal.

## 9.- RECOMENDACIONES

- Se debe de tomar ciertas precauciones con el Cd, ya que este metal se encontró 3 veces más de lo debido y es severamente tóxico y dañino para los organismos y para los humanos.
- Es necesario descubrir las principales fuentes que vierten metales pesados y otros contaminantes tanto para la laguna de Tampamachoco como para el río Tuxpan, esto con el fin de tener un mejor manejo en el vertido de estos contaminantes.
- Es importante que exista una legislación más precisa y estricta en el manejo de los contaminantes, principalmente los metales pesados y que se castigue a las empresas y comercios que viertan sustancias peligrosas en concentraciones mayores a lo establecido sobre los ecosistemas costeros y marinos
- Es necesario elaborar bioensayos de metales pesados que permitan afirmar con certeza las concentraciones a los que estos pueden presentar algún daño en los organismos y así elaborar una normatividad mexicana vigente que regule dichas concentraciones tanto en los organismos como en los alimentos de consumo humano.

- Es de suma importancia que se lleven a cabo muchos más estudios de metales pesados, tanto en agua, sedimentos y en diferentes organismos de la cadena trófica de la laguna y demás cuerpos de agua, esto con el fin de conocer el estado de salud en que se encuentra dicho ecosistema.
  
- Realizar estudios de metales pesados en un mayor número de elementos que pueden ser nocivos en el desarrollo de los organismos, así como problemas de salud de los consumidores de los mismos.

## 10.- APLICACIONES

Una de las aplicaciones de esta investigación es que los resultados pueden ser tomados como punto de partida para próximas investigaciones, y que éstos permitan el biomonitoreo de este importante recurso. A demás este trabajo nos da a conocer el estado en que se encontró la especie con relación a la contaminación de metales pesados en la Laguna de Tampamachoco.

En este sentido es importante señalar que esta especie es riesgosa para sus consumidores ya que presento concentraciones de Cd superiores a lo establecido por normatividades nacionales e internacionales.

Aunado a lo anterior, se plantea la aplicación de la formulación de nuevas normatividades que especifiquen los límites permisibles de metales pesados en este organismo de consumo humano, en particular para los metales cobre y cromo, elementos que carecen de una normatividad mexicana, y que se compararon con normas internacionales.

Otra de las aplicaciones de este trabajo es que se han descubierto la presencia de ciertos metales dañinos para el ser humano, por lo que podría ser tomado como referencia para la realización de una investigación para descubrir las principales fuentes que vierten metales pesados y otros contaminantes hacia la Laguna de Tampamachoco, y el río Tuxpan, esto con el fin de tener un control y proponer una manejo en los desecho de estos contaminantes, y de esta manera se disminuya el riesgo para los pobladores que consumen este importante recurso pesquero.

## 11.- BIBLIOGRAFÍA

Albert, L. y Badilla, F. 1999. Environmental lead in México. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 17: 1-49.

Aloj-Totaro, E.F.A. Pisonti y P. Gless. 1985. The role or copper level in the formation or neuronal lipofuscin in the spinal ganglio of Torpedo m. *Marine Environmental Research*, 15: 153-163.

Alonso J. García M. Pérez M. y Melgar M. 2004. Acumulación de metales pesados en macromicetos y factores que influyen en su capacitación. *Revista de toxicología*. 21(1):11-15.

Anaya D. y Encinas L. 2007. Determinación de metales pesados en agua residual en proceso de Galvano plastia. En: Boletín ambiental en (<http://www.estrucplan.com.ar/contenidos-impacto-test.asp>.)

Arazo, M. C. 2006. Descriptores sensoriales del camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei*. Tesis en opción al título de Licenciado en Ciencias Alimentarias. Universidad de la Habana. Ciudad de la Habana, Cuba. 64 p.

ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). 2004. Toxicological Profile for Copper. Atlanta, GA: Departamento de Salud y de servicios Humanos de E.U.A. Servicio de Salud Pública. [Actualizado en el 2007]. Página electrónica ([www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.html).)

ATSDR (Agency for Toxic Substances & Disease Registry). 2007. Resumen de salud Pública (Plomo). [Actualizado en Agosto del 2007]. Página electrónica ([www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs13.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html)).

Ávila P. y Zarazúa O. 1993. Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea virginica*) del canal El Chijol, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 9: 53-64.

Ayse y Levent. 2007. Influence of sex and seasons on levels of heavy metals in tissues of green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus* de Hann, 1844). *ScienceDirect*. 101: 1664-1669.

Barnes R. 1984. Zoología de invertebrados. Cuarta edición. Interamericana, México. 1157 p.

Bjerregaard P. y Depledge. 1994. Cadmium accumulation in *Littorina littorea*, *Mytilus edulis* and *Carcinus maenas*. *Marine Biology*. 103: 491-501.

Botello A. y Páez F. (1986). El problema crucial: la contaminación. En: *Medio Ambiente en Coatzacoalcos*. Centro de Ecodesarrollo, México. 1, pp. 62-85.

Botello A. Ponce V. Toledo A, Díaz G. y Villanueva S. (1996) Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. En: Botello A. Rojas J. Benítez J. y Zárate L. (Eds.) *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. EPOMEX. Serie Científica N°5. Universidad Autónoma de Campeche. México. pp. 25-44.

Bueno J. Álvarez F. y Santiago S. 2005. Biodiversidad del Estado de Tabasco. En: *Crustáceos*. Ed. S y G editores SA de CV.

Carrillo O. y Vega F. 2002. El dicamarón. *En Diccionario de camaricultura*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste y Universidad de la Habana. México. Cuba. ISBN 970-18-7940-6.

Caso M. Pisanty I. y Ezcurra E. 2004. Aprovechamiento y conservación del recurso camarón. *En: Diagnóstico ambiental del Golfo de México II*. Ed. 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. México. pp. 711- 725.

Caso M. Pisanty I. y Ezcurra E. 2004. Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México. *En: Diagnostico ambiental del Golfo de México*. Ed. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, México. pp. 681-687.

Castañeda L. y Contreras F. 2001. Serie: Bibliografía comentada Más sobre Ecosistemas Costeros Mexicanos de 2001 Centro de Documentación Ecosistemas Litorales Mexicanos. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa Unidad, División CBS Depto. de Hidrología. Publicacion electronica (CD). ISBN: 970-654-912-9. México, DF.

Cawardine, Hoyt, Fordyce y Gill.2006. Contaminación y efectos sobre los cetaceos. *Apnea: delfines y ballenas*. 6:12-18.

CDC. 1991. Preventing lead poisoning in your children. A Statement by the Centre of Disease Control. U.S. Department of health and Human Services, Atlanta, GA.

De la Lanza, E., Sánchez, S. y Esquivel H. 1998. Análisis temporal y espacial fisicoquímico de una laguna tropical a través del análisis multivariado. *Hidrobiología*. **8(2)**: 89-96.

Derache, R. 1990. Toxicología y seguridad de los alimentos. Ed. Omega, Barcelona.

Determinación de metales pesados en *Farfantepenaeus aztecus* colectados en la laguna de Tampamachoco Veracruz. 2010

Devlin, T. 2004. *Bioquímica*, 4ª edición. Reverté, Barcelona. Réverte.1248 p. ISBN 84-291-7208-4.

Dickson, T.R. 1999. Química y enfoque ecológico. Editorial Limusa, México.

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.

FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación). 2008. Global study of shrimp fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No.475. Rome, FAO. 2008. 331 pp.

Farkas, A. Salanki, J. Specziar, A. (2003). Age and size-specific patterns of heavy metals in the organs of freshwater fish *Abramis brama* L. populating a low-contaminated site. *Water Research*, 37: 959–964.

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). [www.cfsan.fda.gov/frf/guid-sf.html](http://www.cfsan.fda.gov/frf/guid-sf.html).

Fergusson, J.F., 1990. The heavy Elements. Chemistry, Environmental Impact and Health Effects. Pergamon Press.

Forstner U. y Wittmann G. 1979. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer Verlag. Neuw York. 485 p.

Frías Espirocueta. Osuna L, Domenico V. Beltrán V. Lizaguirre F. López L. Muy R. y Rubio C. 2009. Contenido de Cd, Cu, Pb y Zn en el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) de seis lagunas costeras de Sinaloa, NW de México. *Revista de Biología marina y Oceanografía*. 44(1): 197-201.

García F. y Le Reste. 1987. *Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones pendidos costeros*. FAO Documento técnico de pesca 203. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

García H. García R. Jara M. Barra G. y Hudson W. 2005. Concentrations of heavy metals in sediment and organisms during a harmful algal bloom (HAB) at Kun Kaak Bay, Sonora, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 50(7) 733-739.

García- Rodríguez A. 2009. Determinación de metales pesados en agua, sedimento y camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* del Golfo de Ana María. Tesis de licenciatura en ciencias alimentarias. La Habana Cuba. 64 pp.

Determinación de metales pesados en *Farfantepenaeus aztecus* colectados en la laguna de Tampamachoco Veracruz. 2010

GBC. 2005. Manual de operación del generador de hidruros GBC HG3000. GBC Scientific Equipment Pty Ltd. Australia.

Gold-Bouchot. Noreño B. y Zapata P. 2005. Hidrocarbon Concentrations in the American Oyster, *Crassostrea virginica*, in Lagune de Terminos, Campeche, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 54(2):222-227.

Goldaracena, 2007. Metales pesados en organismos acuáticos en dos lagunas costeras del sur de Tamaulipas y Norte Veracruz. *Tesis de maestría en Tecnología Avanzada*. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira. Altamira Tamaulipas, México. 101p.

González A. y Ortiz P. 2002. Relación estacional entre el clima y la abundancia relativa del camarón rosado *Farfantepenaeus notialis* en el Golfo de Ana María, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*. 23(2): 97-104.

Guzmán P. Villanueva F. y Botello A. 2005. Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz, p. 361-372. *En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias* (Botello A. Rendón V. Gold B. y Agraz H. Eds.). 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

Hansen J. Mustaffa T. y Depledge M. 1992. Mechanisms of copper toxicity in the shore crab *Carcinus maenas*. I. Effects on Na, K, ATPase activity, hemolymph electrolyte concentration and tissue water content. *Marine Biology*. 114: 253-257.

Harris, E.D. 1991. Copper transport: an overview. *Proc. Of the society for Experimental Biology and Medicine*, 192: 130-140.

Hernández S. Herrera C. y Franco C. 2009. (S/F) Efecto de iones  $Cd^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$  y detergente en el metabolismo de crustáceos marinos. Disponible en <http://www.ciencia-hora.cl/Revista18/03EfectoDelones.pdf>. Consultado 18/5/2009.

Hernández-Peñalver, M. T., García-Melián, M., Caña-Pérez, R. y Sardiñas-Peña, O. 1999. Fracciones biodisponibles de arsénico, plomo, cadmio y mercurio en sedimentos de corrientes superficiales seleccionadas. *Revista Cubana High Epidemiol.* **37 (3)**: 132-137.

Holding B.V. 2008. Propiedades químicas del Cadmio. Recuperado: (28/11/2008): <http://www.lentech.com/español/tabla-periodica/Cd.htm>.

INECOL- (Instituto Nacional de Ecología). 2010. [Actualizado el 17 de Agosto del 2009] Metales pesados. Página electrónica ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)).

Determinación de metales pesados en *Farfantepenaeus aztecus* colectados en la laguna de Tampamachoco Veracruz. 2010

INP-Instituto Nacional de Pesca. 2002. Dictamen Técnico. Informe Técnico de inicio de temporada de la pesca del camarón en el Golfo de México y Mar Caribe. 26 p.

INP-Instituto Nacional de Pesca. 2009. Dictamen Técnico. Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el Golfo de México y mar Caribe. 29 p.

LENNTECH. Water Treatment Solutions. 2009. [Actualizado en Enero del 2009]<sup>1</sup> Cobre. Página electrónica ([www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm)).

Marcovecchio J. Moreno V. y Pérez A. 1991. Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Environmental Research* 31: 263-274.

Márquez A. Senior W. Fermín I. Martínez, G, Castañeda, J. y González, A. 2008. Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Revista Científica Maracaibo*, febrero, 18(1). Disponible en [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S079822592008000100012&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079822592008000100012&lng=es&nrm=iso) . Consultado 9/5/2009.

Mendoza R. 2007. Toxicidad aguda del cobre (Cu<sup>2+</sup>) en postlarvas de camarón de río *Cryphiops caementarius* (Natantia, Palaemonidae). *Revista Peruana de Biología*. 14(1).

Muckle, G. Ayotte, P. Dewailly, E. Jacobson, S.W. Jacobson, J.L. 2001. Determinants of polychlorinated biphenyls and methylmercury exposure in Inuit women of childbearing age. *Environmental Health Perspectives*. 109(9): 957-963.

Nauen, C.E. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FIRI/C764, Rome. *FAO Fisheries Circular*. 764:10-100.

NCR. 1980. Mineral tolerance of domestic animals, national Research Council. National Academy of Sciences, Washinton, D.C.

NOM, Norma Oficial Mexicana. 1993. NOM-029-SSA1-1993. Productos de la pesca. Crustáceos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Secretaría de Salud. Diario Oficial, 15 de abril de 1994.

NOM, Norma Oficial Mexicana. 1994. NOM-117-SSA1-1994. Método de prueba para la determinación de cadmio, cromo, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, mercurio y zinc en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica. Secretaría de Salud. Diario Oficial, 29 de junio de 1995.

Nolasco, H. 2002. *Detección de la actividad lipásica del camarón L. Schmitti. Universidad de la Habana. Cuba.*

Odum, Eugene 1986. *Fundamentos de la Ecología*. Ed. CECSA. México. 472p.

Páez O. Ruiz F. Botello A. Poncev. Osuna L. Frías E. López L. Zazueta P. 2002. Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn), organochlorines (PCBs, HCB) and total PAHs in mangrove oysters from the Pacific Coast of Mexico: an overview. *F. Marine Pollution Bulletin*. 44: 1296–1313.

Páez-Osuna. 2005. Fuente de metales pesados en la zona costera marina, p. 329.342. *En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* Botello J. Rendon-Von. Gold-Bouchot y Agraz-Hernández. 2da edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. p. 696.

Pérez L. Martínez G. Ivis F. y Brito F. 2007. Metales trazas en tejidos blandos de *Callinectes ornatus* procedentes de las lagunas costeras Bocaripo y Chacopata (Península de Araya, estado Sucre). *Bol. Instituto Oceanográfico Venezuela*. 46(2): 175-187.

Rainbow. P. Malik I. y Brien P. 1993. Physicochemical and physiological effects on the uptake of dissolved zinc and cadmium by the amphipod crustacean *Orchestia gammarellus*. *Aquatic Toxicology*. 25: 15-30.

Ramírez, M.W. 1999. Diseño de un modelo de saneamiento de suelos contaminados con metales pesados derivados de la explotación minera. Tesis Profesional, Maestría en Ingeniería de Proyectos, Universidad de Guadalajara, México.

Ramos S. 2000. Composición por tallas, edad y crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Natantia: Penaeidae) en la laguna Mar Muerto, Oaxaca- Chiapas. México. Instituto Nacional de la pesca. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras.

Renato A. Mendoza. Salgado Edgar. Silva A. Carlos. y Lechuga.2003. Muerte masiva de fauna marina en bahía Magdalena, Baja California Sur. México. *Revista de Biología*. 17: 64 – 68.

Reynoso L. Landeros S. y Castañeda C. 2010. Bioacumulación de Cadmio (Cd), plomo (Pb) y arsénico (As) en *Crassostrea virginica* del sistema lagunar Tamiahua, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 26(3): 201-210.

Robertson W. O. y Dreishbach R.H. 1988. Toxicología clínica. Editorial Manual Moderno, México

Robles C. A. Pérez, R. Vázquez M. L. Sánchez J. G. Aguirre G. 2008. *Variabilidad espacio-temporal de metales pesados en camarones, agua y sedimentos de la laguna Madre, Tamaulipas*. Disponible en <http://www.turevista.vat.edu.mx/Volumen%203%20numero%202/PRIMER%20FORO%20UNIVERSITARIO/CA-14.swf>. Consultado 11/3/2009.

Rodríguez-Serrano M. Martínez-De la casa. Romero-Puertas N. M. C. Del Río L. y Sandali L. 2008. Toxicidad del cadmio en plantas. *Ecosistemas*. 17(3): 139.146.

Rosas P. Báez A. y Belmont R. (1983). Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. *Water, Air and Soil Pollut.* 20: 127-135.

Rosas, P. A. Baez y Beimont, 1983. Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of México. *Water, Air and Soils Pollut.* 70: 127-136.

SAGARPA- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y alimentación. 2009. Acuerdo para conocer el establecimiento de épocas y zonas

de veda para la captura de la especie del camarón café en aguas marinas y de los sistemas lagunares de jurisdicción federal del Golfo de México y mar Caribe. 26 p.

Scelso M.1997. Toxicidad del cobre en larvas nauplii del camarón comercial *Artemesia longinaris* Bate (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Investigaciones marinas*, 25: 177-185. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71781997002500013&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71781997002500013&script=sci_arttext). Consultado 25/5/2009.

Shahadat H. y Ahmed Y. 2001. Trace metals in Penaeid shrimp and Spiny lobster from the Bay of Bengal. *Science Asia*. 27: 165-168.

Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. 1995. Biometry. Ed. Freeman and Company, New York. 887 pp.

Sosa M. 2004. Las pesquerías de arrastre de camarón en México. Reducción del impacto de las pesquerías de arrastre del camarón tropical a través de la adopción de prácticas y técnicas protectoras del medio ambiente. Proyecto FAO.

Suárez G. 2003. Toxicidad del plomo sobre el Camarón Rosado *Farfantepenaeus notialis*. II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA), páginas 371-377. Disponible en <http://www.civa2003.org>. Consultado 4/2/2009.

Treviño, L. C., Cruz, L. y Ricque D. 1995. *Aplicación del uso de promotores de crecimiento en acuicultura: antibióticos*. In: Soyanoicias. Ed. Asociación Americana de Soya.

UI J. 1971. *Mercury pollution of sea and fresh water, its accumulation into water biomass*. *Rev. Int. Océan. Méd.* 22(23): 79-128.

Valdés- Perezgasga F. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón Coahuila, México. En defensa del ambiente. Texas Center for Police Studies, D.F. p. 50.

Van Campen, D.R. 1991. Trace elements in human nutrition. *In: Micronutrients in agriculture, Soil Science Society of America, Madison, WI.* (Eds.) Mortverdt, J.J, Cox, F. R. Shuman, L. M. and Welch, R. M. pp 663-701.

Vázquez F. Florville-Alejandre, Herrera M. y Díaz L. 2008. Metales pesados en tejido muscular del bagre *Ariopsis felis* en el sur del golfo de México. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 36(02):223-233.

Vázquez-Botello, Villanueva-Fragoso y Rosales-Hoz. 2004. Distribución de metales pesados en el Golfo de México *En: diagnóstico ambiental del Golfo de México*. (Ed.) Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, Instituto

nacional de ecología, Harte Research Institute For Gulf of Mexico Studies, México, DF. pp. 681- 684.

Vázquez-Sauceda, Aguirre-Guzmán, Pérez-Castañeda-Rábago-castro y Sánchez G. 2005. Contenido de cadmio y plomo en agua, ostión y sedimento de la laguna de San Andrés, Aldama, Tamaulipas. *Ciencia y mar*. 27: 3-9.

Villanueva F. y Botello V. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe mexicano: una revisión. *Contaminación ambiental*. 8(1): 47-61.

Villanueva F. S. Botello V. A. y Paez-Ozuna.1988. Contaminación ambiental. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del río Coatzacoalcos y de la laguna del Ostión, Veracruz, México. *Contaminación Ambiental*. 4:19-31.

Villanueva, F. S. y A.V. Botello, 2005. Vigilancia y presencia de metales tóxicos en la laguna el Yucateco, Tabasco, México, p. 407-430. *En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. A.V. Botello, J. Rendón- Von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.), 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, INECOL. 696 p.

Wright J. 2003. Environmental Chemistry: Heavy metals and pollution of the lithosphere. Ed. Taylor& Francis e-Library, USA and Canada. 409 pp.

## 11.- ANEXOS

**11.1 Anexo 1.** Valores de salinidad en el periodo de muestreo.

**Cuadro 2.** Valores de salinidad en UPS de los 4 puntos de muestreo en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo de muestreo.

	La Mata (UPS)	Isla Potrereros Sur (UPS)	CFE (UPS)	Pipiloya (UPS)	Valor promedio
Marzo	32.12	32.69	32.88	31.84	32.3825
Abril	30.23	32.83	35.48	35.72	33.565
Mayo	34.79	34.58	34.18	34.01	34.39
Junio	32.99	31.72	30.07	31.97	31.6875
Julio	26.42	26.51	31.26	31.46	28.9125
Agosto	32.35	33.72	33 00	33.33	33.1
Septiembre	5.45	10.2	11.40	11.6	9.6625
Octubre	10.56	12.23	12.85	12.76	12.1
Noviembre	12.87	29.09	29.53	30.14	25.4075
Diciembre	29.24	29.37	31.79	30.74	30.28
Enero	25.19	25.32	26.74	26.52	25.9495
Febrero	19.9	26.03	26.55	26.3	24.695
Valor promedio	24.34	27.02	27.97	28.85	

**11.2. Anexo 2.** Valores de oxígeno disuelto en el periodo de muestreo.

**Cuadro 2.** Valores de oxígeno disuelto (OD) en mg/l de los 4 puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo de muestreo.

	La Mata (mg/l)	Isla Potreros Sur (mg/l)	CFE (mg/l)	Pipiloya (mg/l)	Valor promedio
Marzo	6.39	6.28	6.48	5.55	6.2
Abril	5.90	5.60	5.22	5.58	5.6
Mayo	5.48	5.23	5.34	4.97	5.3
Junio	4.61	4.9	4.72	4.16	4.6
Julio	4.28	4.22	3.52	3.98	4.0
Agosto	4.6	4.95	4.58	4.21	4.6
Septiembre	5.44	5.69	5.1	1.1	4.3
Octubre	5.12	5.49	5.51	5.55	5.4
Noviembre	5.66	5.23	5.12	3.64	4.9
Diciembre	5.15	5.37	4.5	4.04	4.8
Enero	5.51	5.5	4.86	4.43	5.1
Febrero	5.91	5.34	5.17	5.26	5.24
Valor promedio	5.33	5.31	5.01	4.37	

**11.3. Anexo 3.** Valores de temperatura en el periodo de muestreo.

Cuadro 3. Valores de temperatura en °C de los 4 puntos de muestreo en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo de muestreo.

	La Mata (°C)	Isla Potero Sur (°C)	CFE (°C)	Pipiloya (°C)	Valor promedio
Marzo	25.33	25.35	26.48	25.82	25.74
Abril	26.6	26.48	25.87	26.08	26.25
Mayo	27.34	27.34	28.28	29.05	28.00
Junio	27.07	27.71	29.73	31.54	29.01
Julio	26.93	28.04	30.46	30.00	28.85
Agosto	27.41	27.89	28.54	30.14	28.49
Septiembre	26.48	28.41	29.19	29.69	28.44
Octubre	25.37	25.38	25.15	25.00	25.22
Noviembre	23.57	23.74	23.71	24.51	23.88
Diciembre	21.74	21.37	22.47	22.05	21.90
Enero	19.09	19.59	21.4	21.53	20.40
Febrero	17.94	17.68	16.92	17.85	17.59
Valor promedio	24.57	24.915	25.68	26.105	