



Universidad Veracruzana

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

---

---

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

“Presencia de metales pesados en *Isognomon alatus*  
(Gmelin, 1791) de la laguna Tampamachoco, Veracruz”

**TESIS**

Que para obtener el grado de:  
**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS  
MARINOS Y COSTEROS**

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

**Orquidea Lozada Flores**

**Director:  
Dra. Marisela López Ortega**



Universidad Veracruzana

Tuxpan, Veracruz

2015

Tuxpan de Rodríguez Cano Veracruz, a 8 de Diciembre del 2014

La presente Tesis titulada “**Presencia de metales pesados en Isognomon alatus (Gmelin, 1791) de la laguna Tampamachoco, Veracruz**” realizada por la C. Orquidea Lozada Flores, bajo la dirección particular de la Dra. Marisela López Ortega ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

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

---

Marisela López Ortega

DIRECTOR

La presente Tesis titulada “**Presencia de metales pesados en *Isognomon alatus* (Gmelin, 1791) de la laguna Tampamachoco, Veracruz**” realizada por la C. Orquidea Lozada Flores, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

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



---

Dra. Griselda Pulido Flores

LECTOR



---

Dra. María Alejandra López Jiménez

LECTOR



---

Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera

LECTOR

*"Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas. "*

*Josue 1:9*

## Agradecimientos

¡Gracias mi Dios por permitirme terminar esta etapa, por levantarme en los momentos difíciles!

Gracias a CONACyT por el apoyo recibido: 347663

A la Universidad Veracruzana que me abrió sus puertas para cumplir este objetivo de vida.

A mi directora de tesis la Dra. Marisela López Ortega por toda su paciencia y apoyo en la realización de este trabajo; a mi comisión lectora por sus valiosas aportaciones en el enriquecimiento de la tesis. Dra. María Alejandra López Jiménez, la Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera y la Dra. Griselda Pulido Flores

Al Dr. Juan Manuel Pech Canche por su enorme ayuda en la estadística correspondiente....

De manera muy especial y con todo mi corazón agradezco a mi mamá por su apoyo incondicional y a toda la familia Lozada Flores y descendientes porque su apoyo fue determinante en la culminación de esta maestría, porque cuidaron a Dan cuando fue necesario ¡Gracias!

A mi pequeño Dan por los buenos, malos, y difíciles momentos que vivimos en Tuxpan.

A mis compañeros de la maestría, a mis amigos que siempre han estado (Natalia, Jorge y Gabriel) a las nuevas amigas (Bea y Luisi) ¡Gracias!

Por todo el apoyo y las porras ¡Gracias J. M. Antonio!

## ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.....	VII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 ANTECEDENTES .....	5
2.1 Generalidades de los metales pesados.....	5
2.1.1 Cadmio.....	5
2.1.2 Cromo.....	6
2.1.3 Cobre.....	7
2.1.4 Plomo .....	8
2.2 Legislación sobre metales pesados .....	9
2.3 Efecto de los factores fisicoquímicos en la bioacumulación de metales .....	10
2.4 Generalidades de bivalvos.....	12
2.5 <i>Isognomon alatus</i> (Gmelin 1791).....	13
2.6 Impacto de la contaminación en bivalvos.....	15
2.7 Relación entre el tamaño de bivalvos y la concentración de metales .....	17
2.8 Bivalvos bioindicadores.....	18
2.9 Metales en zonas costeras del Golfo de México.....	19
3 OBJETIVOS .....	25
3.1 General .....	25
3.2 Particulares.....	25
4 ÁREA DE ESTUDIO .....	26
4.1 Laguna de Tampamachoco .....	26
4.2 Sitios de muestreo.....	28

5	MATERIAL Y MÉTODO .....	29
5.1	Muestreo .....	29
5.2	Medición de talla y peso.....	32
5.3	Determinación de metales .....	33
5.4	Análisis estadísticos.....	35
6	RESULTADOS.....	36
6.1	Variables fisicoquímicas.....	36
6.1.1	Salinidad .....	36
6.1.2	Temperatura.....	38
6.1.3	pH.....	39
6.1.4	Oxígeno disuelto.....	40
6.2	Talla/peso .....	41
6.2.1	Altura .....	41
6.2.2	Longitud .....	42
6.2.3	Peso del cuerpo blando en fresco .....	43
6.2.4	Peso fresco.....	44
6.3	Concentración de metales .....	45
6.3.1	Cadmio .....	45
6.3.1.1	Concentración de Cd en cuerpo blando .....	45
6.3.1.2	Concentración de Cd en concha.....	47
6.3.2	Cromo.....	48
6.3.2.1	Concentración de Cr en cuerpo blando .....	48
6.3.2.2	Concentración de Cr en concha.....	49
6.3.3	Cobre.....	50
6.3.3.1	Concentración de Cu en cuerpo blando .....	50

6.3.3.2	Concentración de Cu en concha.....	51
6.3.4	Plomo.....	52
6.3.4.1	Concentración de Pb en cuerpo blando.....	52
6.3.4.2	Concentración de Pb en concha.....	52
6.4	Correlaciones.....	54
6.4.1	Concentración de metales/variables fisicoquímicas.....	54
6.4.1.1	Por sitio de muestreo.....	54
6.4.1.2	Por temporada de muestreo.....	55
6.4.2	Concentración de metales→talla/peso <i>I. alatus</i> .....	56
6.4.2.1	Por sitio de muestreo.....	56
6.4.2.2	Por temporada de muestreo.....	57
6.4.3	Variables fisicoquímicas→talla/peso.....	58
6.4.3.1	Por sitio de muestreo.....	58
6.4.3.2	Por temporada de muestreo.....	59
7	DISCUSIÓN.....	60
8	CONCLUSIONES.....	79
9	APLICACIONES.....	81
10	BIBLIOGRAFÍA.....	82



## Índice de cuadros

Cuadro 1. Correlaciones metal/variable fisicoquímica/sitios. _____	54
Cuadro 2. Correlaciones metal/variable fisicoquímica/temporada. _____	55
Cuadro 3. Correlaciones metal/biometría/sitios. _____	56
Cuadro 4 Correlaciones metal/biometría/temporada. _____	57
Cuadro 5. Correlaciones variable fisicoquímica/biometría/sitio. _____	58
Cuadro 6. Correlaciones variable fisicoquímica/talla-peso/temporada _____	59

## Índice de figuras.

Figura 1. <i>Isognomon alatus</i> (Gmelin, 1791)	14
Figura 2. Laguna Tampamachoco. Sitios de muestreo	26
Figura 3. Sonda multiparámetro marca Hanna HI 9828	29
Figura 4. Fijación del Oxígeno disuelto por el método Winkler	30
Figura 5. Recolección por muestreo directo de <i>I. alatus</i>	31
Figura 6. Almacenamiento de muestras para traslado	31
Figura 7. Preparación de muestras para lectura en Espectrofotómetro de Absorción Atómica.	34
Figura 8. Salinidad (ups) de la Laguna Tampamahoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013.	37
Figura 9. Temperatura superficial del agua (°C) de la laguna Tampamahoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013.	38
Figura 10. pH del agua de la Laguna Tampamahoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013	39
Figura 11. Concentración de Oxígeno disuelto (mg/L) en el agua de la Laguna Tampamahoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013.	40
Figura 12. Altura promedio (cm) de <i>I. alatus</i> por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.	41
Figura 13. Longitud promedio (cm) de <i>I. alatus</i> por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.	42
Figura 14. Peso promedio (g) del CB en fresco por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.	43
Figura 15. Peso fresco total promedio (g) de <i>I. alatus</i> por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.	44
Figura 16. Concentración de Cd en concha de <i>I. alatus</i> (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.	46
Figura 17. Concentración de Cd en cuerpo blando de <i>I. alatus</i> (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.	47
Figura 18. Concentración de Cr en cuerpo blando de <i>I. alatus</i> (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.	48

Figura 19. Concentración de Cr en concha de <i>I. alatus</i> (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz. _____	49
Figura 20. Concentración de Cu en cuerpo blando de <i>I. alatus</i> (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz. _____	50
Figura 21. Concentración de Cu en concha de <i>I. alatus</i> (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz. _____	51
Figura 22. Concentración de Pb en Concha de <i>I. alatus</i> (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz. _____	53

## RESUMEN

Se determinó la concentración de Cadmio, Cobre, Cromo y Plomo en cuerpo blando y concha de *Isognomon alatus* recolectados en la Laguna Tampamachoco (Gmelin, 1791); se relacionó la concentración con variables fisicoquímicas de la laguna y con la talla/peso de los organismos. Se realizaron muestreos mensuales en seis bancos ostrícolas representativos de la laguna por un periodo de un año, Septiembre 2012- Octubre 2013. La presencia de metales se determinó por espectroscopía de absorción atómica en muestras secas de cuerpo blando y concha previa digestión ácida, encontrándose valores máximos en cuerpo blando: Cd 6.75 mg/kg, Cr 1.78 mg/kg; Cu 20.68 mg/kg y Pb n/d. En concha: Cd 1.5 mg/kg; Cr 4.88 mg/kg; Cu 29.95 mg /kg y Pb 63.80 mg/kg. La concentración de Cd en cuerpo blando supera el LMP establecido por la NOM-031-SSA-1993 a, b y c de 0.5 mg/kg de Cd/ peso fresco de peces, crustáceos y moluscos. Las altas concentraciones de Cd y Pb en *I. alatus* encontradas en este estudio pueden estar relacionadas con el constante vertido de aguas residuales y los escurrimientos que arrastran sedimentos y materiales hacia la laguna. Se recomienda el uso de la concha de moluscos bivalvos para evaluar la calidad del agua de cuerpos lagunares; en especial la concha de los organismos con crecimiento irregular como *I. alatus* debido a que son capaces de integrar en su concha los cambios en agua y sedimento.

Palabras clave: Tampamachoco, metales, bivalvo, *Isognomon alatus*.

# 1 INTRODUCCIÓN

El Golfo de México, es una zona de alta biodiversidad, con un aproximado de 15,419 especies de bacterias, algas, hongos y animales; en la zona, el Phylum Mollusca es el segundo más diverso después de los crustáceos (Phylum Arthropoda); está representado por las Clases: Aplacophora, Polyplacophora, Gastropoda, Cephalopoda, Bivalvia y Scaphopoda (Felder *et al.*, 2009).

Los bivalvos desempeñan papeles ecológicos importantes en los cuerpos de agua; por sus hábitos filtradores los bivalvos pueden acumular toxinas y contaminantes en la cavidad intervalvar y en los tejidos por lo que puede actuar como filtro biológico y algunas especies se pueden usar como bioindicadores. Entre los contaminantes más comunes que acumulan los bivalvos se encuentran bacterias coliformes y metales pesados (Farías, 2006). Los bivalvos filtradores bioacumulan los contaminantes del agua circundante y cada especie puede mantener la toxicidad por horas o incluso años.

Los metales pesados están ampliamente distribuidos en la naturaleza, por lo que es inevitable su presencia en los seres vivos; forman complejos con la materia orgánica, y pueden fijarse en los tejidos de los organismos que habitan en ambientes expuestos a contaminación por metales pesados (Luna *et al.*, 2002). Algunos elementos causan efectos indeseables en el metabolismo, aún en bajas concentraciones; su toxicidad depende de la dosis en que se ingieran y de la acumulación en los organismos (FAO/OMS, 2000). En moluscos las

estructuras más afectadas por acumulación de metales pesados son el hepatopáncreas y los músculos (Coan *et al.*, 2000).

La salinidad y la temperatura son los principales factores fisicoquímicos que determinan la biodisponibilidad del metal y su acumulación en los organismos (Brown y Depledge, 1998). La contaminación por metales en los organismos se da por bioacumulación: que es la incorporación y acumulación de contaminantes a partir de fuentes abióticas; y por biomagnificación: que es el incremento de un contaminante al ascender en la cadena alimenticia (Anaya y Encinas, 2007). La acumulación de metales pesados por encima de ciertos niveles puede afectar el metabolismo del organismo que está en contacto directo con el contaminante (Argota-Coello, 2005).

Un indicador es un organismo sensible o tolerante a diversos tipos de contaminación o sus efectos; es característico de un medio ambiente, que “cuantifica” la magnitud del estrés, las características del ambiente y el grado de exposición al estresor o el grado de respuesta ecológica a la exposición (SEMARNAP-CNA-UNAM, 2000). El indicador nos ayuda a medir la salud del ecosistema acuático y a determinar el impacto de las actividades humanas. Un indicador ideal según Rainbow y Phillips (1993) es: sedentario, robusto, fácil de identificar y muestrear en sus temporadas del año; por lo que usar macroinvertebrados bénticos como bioindicadores resulta ventajoso (SEMARNAP-CNA-UNAM, 2000).

Los organismos con hábitos bentónicos son los más afectados por la contaminación de algunos metales como el Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cromo (Cr), y Cadmio (Cd), que reducen su potencial de sobrevivencia y, en ocasiones propicia su total desaparición en océanos y zonas costeras (Vázquez-Botello, *et al.*, 2004). Los bivalvos son bentónicos, generalmente sedentarios y filtradores; lo que hace de ellos buenos indicadores de la calidad del agua; históricamente y mundialmente se les ha usado como bioindicadores (*Mytilus edulis*, *M. californianus*, *Crassostrea virginica*, *C. rhizophorae* y *Dreissena polymorpha* (NOAA, 2004)) y como biofiltros (Madrigal *et al.*, 2005) principalmente en zonas con alto impacto y descargas de residuos, como los ecosistemas costeros (Moretzsohn *et al.*, 2009).

Los ecosistemas costeros del Golfo de México son cuerpos de agua de alta importancia económica para el país, por su diversidad biológica y las prácticas productivas establecidas en ellos; también son receptáculo de materiales, sedimentos y contaminantes que son producto de las actividades de centrales termoeléctricas, plataformas petroleras, industrias, y actividades urbanas y domésticas. Los contaminantes llegan a las aguas costeras por procesos naturales, escurrimientos, ríos o deposición directa que descargan: residuos industriales, aguas negras sin tratar, residuos radiactivos, aceites, hidrocarburos, pesticidas y metales pesados (SARH-INGGO, 1980; Luna *et al.*, 2002; Toledo-Ocampo, 2005; Mendoza-Díaz, 2010).

La laguna de Tampamachoco está sometida a fuertes descargas de contaminantes producidos y depositados en la misma por el río, las comunidades aledañas, las industrias de construcción, las plataformas petroleras y la Central Termoeléctrica Adolfo López Mateos (Mendoza-Díaz, 2010).

Por lo anterior es importante conocer la concentración y tipo de contaminantes que afectan los ecosistemas acuáticos para poder determinar la salud de los ecosistemas y de los organismos que lo habitan y su probable aprovechamiento por los humanos; con la realización de este proyecto se pretende determinar la concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en *Isognomon alatus* (Gmelin 1791); la relación con variables fisicoquímicas y con la talla/peso de la especie para proponerla como indicador de contaminación por metales pesados en la laguna Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz.



## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 Generalidades de los metales pesados

Los metales pesados son aquellos elementos cuyo peso atómico varía entre 63.564g/mol y 200.590 g/mol, su densidad es mayor a 5 g/ml. Son elementos potencialmente tóxicos. Los metales de transición que en bajas concentraciones son esenciales: Cobalto (Co), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) y los metaloides que no son esenciales y pueden ser tóxicos a bajas concentraciones: Pb, Cd, Hg, As, Cr, Selenio (Se) y Estaño (Sn). Se encuentran en agua, aire y suelo en diferente estado de oxidación y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua (Cervantes y Moreno, 1999; INE 2009). Entre los metales que pueden resultar tóxicos para los organismos acuáticos se pueden mencionar, siguiendo un orden de toxicidad decreciente: Hg, Cd, Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Al, Co (Kennish, 1997).

#### 2.1.1 Cadmio

Es un elemento que se encuentra en forma natural en la corteza terrestre, es un metal suave y de color blanco plateado. Por lo general, se encuentra como mineral combinado con otros elementos como el Oxígeno (O), Cloro (Cl) o Azufre (S). Se extrae como un producto secundario durante la producción de otros metales como el Zn, el Pb o el Cu. Tiene muchas aplicaciones, en la industria se usa en baterías, pigmentos, recubrimientos para metales, plásticos y algunas aleaciones de metales. Se libera al ambiente como consecuencia de

actividades humanas como la minería y el consumo de combustibles fósiles y la incineración de desechos domésticos; por actividades agrícolas con fertilizantes que contienen ciertas cantidades de cadmio que se filtran al suelo durante la aplicación en los cultivos (ATSDR, 1999). Las NOM-031-SSA-1993 a, b y c reportan como límite máximo permisible para el consumo humano de peces, crustáceos y moluscos un contenido de 0.5 mg/kg de Cd.

El Cd en las lagunas costeras de Veracruz es un componente normal de los sedimentos marinos y de las rocas fosfóricas (Largerwerff 1972); mientras que los altos valores detectados están directamente relacionados con los desechos industriales, descargas urbanas, las características sedimentológicas y el contenido de materia orgánica del sedimento que forma complejos orgánicos con el Cd (Vázquez-Botello *et al.*, 2004).

### 2.1.2 Cromo

Es un metal esencial porque muy pequeñas cantidades de Cr son necesarias para la salud de los seres humanos. Naturalmente se encuentra en rocas, animales, plantas y en el suelo. Es usado extensamente en procesos de manufactura, productos de consumo tales como: madera tratada con dicromato de cobre, cuero curtido con sulfato crómico, artículos de cocina de acero inoxidable. La NOM-001-ECOL-1996 establece como límite máximo permisible (LMP) en promedio diario 1.0 gramos por litro de cromo en humedales naturales (ATSDR, 2012). La Food and Drugs Administration (FDA, 2003),

estableció los niveles máximos de este metal para el consumo de mariscos: 13 mg/kg para Cr.

La existencia de Cr en lagunas y ríos del Golfo de México se debe de manera importante a las descargas de industrias aledañas a estos sitios, principalmente aquellas relacionadas con la tenería y los fertilizantes, que descargan sus desechos en forma de cromatos. Este Cr se acumula en los sedimentos (Vázquez-Botello, *et al.*, 2004).

### 2.1.3 Cobre

El cobre es un metal rojizo que ocurre naturalmente en las rocas, el agua, los sedimentos y, en niveles bajos, el aire. Su concentración promedio en la corteza terrestre es aproximadamente 50 partes de cobre por millón de partes de suelo (ppm). Ocurre naturalmente en todas las plantas y animales. En bajas concentraciones en la dieta es un elemento esencial para todos los organismos. A niveles mucho más altos pueden ocurrir efectos tóxicos (ATSDR, 2004).

Se usa en cables eléctricos y en algunas cañerías de agua, en aleaciones, como por ejemplo latón y bronce. El compuesto de cobre que se usa más comúnmente es el sulfato de cobre. Muchos compuestos de cobre pueden ser reconocidos por su color azul-verdoso (ATSDR, 2004).

El cobre puede entrar al medio ambiente a través de liberaciones desde minas de cobre y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan cobre metálico o compuestos de cobre. El cobre también puede entrar al medio ambiente desde depósitos de basura, del agua residual doméstica, de la combustión de desperdicios y combustibles fósiles, de la producción de madera, de la producción de abonos de fosfato y de fuentes naturales (ATSDR, 2004).

#### 2.1.4 Plomo

Es un metal de color gris-azulado que se encuentra en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo. El Pb metálico es resistente a la corrosión (resiste la acción del aire o del agua). El Pb y las aleaciones de Pb son componentes comunes de cañerías, baterías, pesas, proyectiles y municiones, baterías para automóviles, como pigmentos en pinturas, en barnices para cerámicas y en materiales de relleno (ATSDR, 2012). ). Las NOM-031-SSA-1993 a, b y c reportan como límite máximo permisible para el consumo humano de peces, crustáceos y moluscos un contenido de 1.0 mg/kg de Pb.

Las altas concentraciones detectadas en varias lagunas costeras del Golfo de México se relacionan de manera directa con la descarga continua y a veces masiva de aguas residuales; así como de las emisiones atmosféricas provenientes de las áreas urbanas e industriales que se transportan a otras

regiones del Golfo de México dependiendo del patrón de vientos (Vázquez-Botello *et al.*, 2004, Valencia, 1989).

## 2.2 Legislación sobre metales pesados

En el ámbito internacional la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) adopta la recomendación para la cooperación en la investigación y la reducción de riesgos de las sustancias químicas existentes; la recomendación trata sobre la reducción de riesgos provocados por sustancias químicas en el ambiente, la salud de la población o los trabajadores. Esta recomendación maneja cuatro sustancias, tres de las cuales son metales pesados: Cd, Hg y Pb (INE, 2010).

En México existen Normas Oficiales Mexicanas y de la Secretaría de Salud (NOM-031-SSA-1993, y la 001-ECOL-1996) que rigen los límites de concentración de metales pesados en moluscos frescos y en conserva y de metales en las descargas de aguas residuales.

Estas normas apoyan el Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PMSMB) que controla la calidad sanitaria de los moluscos bivalvos con el fin de salvaguardar la salud pública y apoyar a las exportaciones; se conforma a nivel Federal por la Secretaría de Salud, la Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Marina, coordinadas por la Secretaría de Salud a través de la Comisión Federal para la Protección contra

Riesgos Sanitarios, para definir los lineamientos técnicos a nivel nacional necesarios para conseguir sus objetivos (COFEPRIS, 2012).

### 2.3 Efecto de los factores fisicoquímicos en la bioacumulación de metales

La fracción biodisponible de los metales constituye un parámetro crítico en la incorporación y finalmente su concentración en el organismo, en los diferentes tejidos supone una variable muy importante para determinar la toxicidad del contaminante. La toxicidad de los metales traza es dependiente de la biodisponibilidad de las formas química y física del metal (Allen y Hansen, 1996). Una gran cantidad de factores biogeoquímicos afectan la dinámica de los metales entre estos factores destacan el pH, la salinidad, el contenido en sólidos, principalmente arcillas y la presencia de compuestos orgánicos como las sustancias húmicas (Hatje *et al.*, 2003, Achterberg *et al.*, 2003, Turner *et al.*, 2004).

La acumulación de los metales en los organismos se ve afectada por factores físicos (pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto) que influyen en las concentraciones de metales en la columna de agua y que afecta su biodisponibilidad (Brown y Depledge, 1998).

- ❖ **pH:** la mayoría de los metales son insolubles a pH neutros o básicos y tienden a estar más disponibles a pH ácido.

- ❖ **Salinidad:** modifica la captación de los metales pesados, bajas salinidades, incrementan su biodisponibilidad y la incorporación.
  
- ❖ **Temperatura:** al aumentar la temperatura en el medio acuático aumenta también la toxicidad de algunos metales pesados.
  
- ❖ **Oxígeno disuelto:** en ambientes hipóxicos, el organismo puede compensar la carencia de oxígeno, aumentando el volumen de ventilación branquial.

## 2.4 Generalidades de bivalvos

Los bivalvos son el segundo grupo de moluscos con mayor diversidad de especies, sólo precedido por los gasterópodos. Son organismos exclusivamente acuáticos, habitan desde charcas temporales hasta zonas abisales; son bentónicos y generalmente de hábitos sedentarios (Boss, 1982; Coan *et al*, 2000; Carpenter, 2002).

Son moluscos comprimidos lateralmente con cabeza rudimentaria, no tienen ojos ni rádula, tienen un par de ctenidios bipectinados que tienen doble función: respiratoria y alimentaria. El pie está comprimido lateralmente y está en la región anterior, se usa principalmente para excavar y sujetarse al sustrato (Brusca y Brusca, 2000; Coan *et al.*, 2000); El borde externo del manto secreta la concha de los bivalvos (dos valvas articuladas); La concha está compuesta por tres capas: la capa externa (periostraco) que es una capa protectora compuesta generalmente de conquiolina. La capa media (mesostraco) y la interna (endostraco). Las capas se forman por la acumulación de sales calcáreas suministradas por el epitelio del manto; que junto con las branquias incorporan sustancias inorgánicas que toman del agua circundante (García-Cubas y Reguero, 2004).



## 2.5 *Isognomon alatus* (Gmelin 1791)

*Isognomon alatus* se distribuye desde la península de Florida, Bermudas y hasta la costa sudamericana de Brasil (Domaneschi y Martins, 2002). Se encuentra en las lagunas costeras del Golfo de México, principalmente en los estados de Veracruz y Tabasco. (Reguero, 1994). En la Norma Oficial Mexicana para la Protección Ambiental (NOM-059-ECOL-1994), que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. La especie *Isognomon alatus* o almeja plana, se encuentra incluida en como especie sujeta a protección especial publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de mayo de 1994.

La almeja plana es un bivalvo con concha alargada en el eje dorso-ventral, tiene forma irregular; está comprimida bilateralmente y la valva izquierda es más convexa (Fig 1). Frecuentemente presenta una proyección posterior en forma de ala. Tiene superficie lisa con láminas comarginales, algunas veces presenta escultura radial. Tiene periostraco delgado (Coan *et al.*, 2000; Chávez-Ortiz, 2002, García-Cubas y Reguero, 2004). Los umbones son pequeños y se presentan en la región anterior, la charnela en los adultos carece de dientes y presenta escotaduras de anclaje para el ligamento en forma de surcos paralelos y perpendiculares al eje dorsal. Tienen un músculo aductor posterior. El manto se abre en la región ventral sin fusionarse; el pliegue interno del manto tiene tentáculos cortos sin ocelos. El pie es pequeño,

en forma de dedo y presenta biso resistente. Tiene branquias de tipo filibranquio (Coan *et al.*, 2000; García-Cubas y Reguero, 2004). Las valvas se incrementan de manera irregular en los adultos y forman extensiones en el margen posterior. Esto se debe probablemente a la necesidad de asegurar que un mayor flujo de agua sea filtrado (Yonge, 1978)

García-Pacheco (2004) observó el ciclo gonádico de *I. alatus* en la laguna de la Mancha; encontró una relación inversa entre el desove y temperatura/salinidad, con el pico de desove los meses de diciembre a febrero; también observó que la gametogénesis ocurre frecuentemente en marzo. Se encontró también que en promedio los organismos de esta especie crecen en longitud (eje antero-posterior) 46.7 mm al año, con incrementos mensuales desde 1.1 mm hasta 8.4 mm.



Figura 1. *Isognomon alatus* (Gmelin, 1791)

## 2.6 Impacto de la contaminación en bivalvos

Los bivalvos desempeñan papeles ecológicos importantes en los cuerpos de agua; los organismos filtradores bioacumulan los contaminantes del agua circundante; cada especie puede retener las sustancias tóxicas por horas o incluso años, pudiendo provocar alteraciones fisiológicas en los organismos. Las estructuras más afectadas por acumulación de metales pesados son el hepatopancreas y los músculos (Wallace y López, 1997; Coan *et al.*, 2000).

También se han reportado daños por hidrocarburos en los ctenidios, tracto digestivo y tejido conectivo del divertículo de *Crassostrea virginica* de las lagunas Mecoacán, Carmen y Machona en Tabasco (Gold-Bouchot *et al.*, 1995).

Wallace y López (1997). Observaron que la presencia de Cd disminuye la producción de biso debido a que es capaz de desplazar al calcio ocupando sitios específicos en la formación de las proteínas del biso. Además Gundacker, 1994; Almeida *et al.*, 2003 observaron que *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) y *Mytilus edulis* Linnaeus, 1798; se liberan de su biso cuando se ven sometidos a agentes irritantes, permitiendo ser arrastrados por las corrientes. También se conoce la capacidad de aislarse por varias horas con el cierre hermético de las valvas, cuando las condiciones ambientales se vuelven adversas (Loosanoff y Tommers, 1948; Loosanoff, 1962; Galtsoff, 1964).

Bacqueiro-Cárdenas *et al.* (2007) observaron cambios en la reproducción en zonas con diferentes concentraciones de contaminante. El bivalvo de hábitos filtradores *Crassostrea virginica* tiene desove todo el año, tiene mayor frecuencia desde junio hasta octubre, con un desove intenso durante julio y agosto. Las poblaciones tienen alta capacidad de recuperación en diferentes condiciones ambientales, en sitios con mayores descargas contaminantes hay menor periodo de recuperación y por consecuencia la gametogénesis más rápida y un periodo de madurez más largo, en lugares con pocas descargas tienen mayor tiempo de recuperación, la gametogénesis es más lenta y el periodo de madurez más corto. Concluyeron que las poblaciones que están en zonas de altas descargas están sometidas a bacterias fecales y concentraciones de metales en el sedimento y aunque se favorece la reproducción también están sometidos a la bioacumulación.

La contaminación en los ecosistemas acuáticos también puede ocasionar cambios morfológicos en la concha, Skolowski (2008) evaluó modificaciones en la concha (alargamiento de la concha en el eje antero-posterior) de *Macoma balthica* debidas principalmente a la aclimatación a condiciones ambientales hipóxicas o anóxicas resultantes de la presencia de sulfuro de hidrógeno; las modificaciones de alargamiento de la concha favorecen el bombeo de agua oxigenada.

En otro estudio realizado por Lango-Reynoso *et al.*, (2010) evalúan las diferencias de concentración entre los tejidos manto-músculo-ctenidio (MMG) y

gónada-glándula digestiva de Cd, Pb y Arsénico (As) en *Crassostrea virginica* en el sistema lagunar Tamiahua, Veracruz.

## 2.7 Relación entre el tamaño de bivalvos y la concentración de metales

Se han realizado estudios que observan el efecto de la talla de los organismos con la concentración de metales; De Lacerda *et al.*, (1983) midieron las concentraciones de Cu, Cr, Zn, Cd, Mn y Pb en tejido blando y concha de *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819) en la Bahía de Sepetiba, en Río de Janeiro, Brasil. Establecieron la relación entre la talla y la concentración de metales; encontraron que la concentración de Zn, Mn, Pb y Cr son menores en animales de mayor peso y la concentración de Cd aumenta con el tamaño del animal. La concentración del Cu se encontró constante independiente del tamaño del animal.

Yambem Tenjing Singh *et al.*, (2013) encontraron que la concentración de metales en *Donax scortum* (Linnaeus, 1758) de la playa Karnataka en India; está relacionada con el tamaño de las conchas: Las mayores concentraciones de Cu y Pb se encontraron en los organismos más grandes y las mayores concentraciones de Fe y Cr se encontraron en los organismos de menor tamaño. Concluyeron que existe relación entre la concentración de metales y el tamaño de la concha de los bivalvos

## 2.8 Bivalvos bioindicadores

Algunas investigaciones evalúan el uso de bivalvos y sus características morfológicas o fisiológicas como indicadores de contaminación. De Donno *et al.*, (2008) consideraron que el bivalvo *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819, es capaz de integrar las fluctuaciones de concentración de contaminantes presentes en el agua circundante. Los mejillones pueden ayudar a detectar contaminación que se puede perder por métodos de monitoreo de agua. Además recomiendan realizar de 1 a 2 muestreos mensuales para detectar los incrementos abruptos ocasionales de contaminantes que se pierden en los monitoreos del agua pero que pueden ser integrados por *M. galloprovincialis*.

Peake *et al.*, (2010) evaluaron la concentración de metales en pectínidos que no se han usado como bioindicadores, pero sí son de alto valor comercial; recomiendan medir los metales en diferentes tejidos de los bivalvos para identificar el tejido que puede ser más útil como biomonitor, además de comparar las concentraciones entre diferentes grupos taxonómicos de bivalvos pues tienen diferentes características en la acumulación de metales, unas especies acumulan más ciertos metales que otras; por lo que puede haber una correlación entre la acumulación y el grupo taxonómico.

## 2.9 Metales en zonas costeras del Golfo de México

El Golfo de México recibe una gran cantidad de tóxicos mediante la afluencia del Río Mississippi desde Estados Unidos y desde México por el río Grijalva – Usumacinta, así como la aportación por parte de los puertos de Brownsville, Corpus Christi, Houston y Galveston en los Estados Unidos y Tampico, Cd. Madero, Altamira, Veracruz, Alvarado, Coatzacoalcos, Dos Bocas Tabasco y Cd. del Carmen en México (Botello *et al.*, 1998; Caso *et al.*, 2004).

Estudios conducidos por más de 20 años en las costas del Golfo de México han demostrado la presencia de elevadas concentraciones de metales tóxicos como el Pb, Cd, Cr, y Ni, mostrando que los problemas más severos de la contaminación por metales ocurren en cuerpos de agua semicerrados particularmente en bahías, estuarios y lagunas costeras. Se han determinado las concentraciones de metales pesados tanto en sedimento, agua y organismos bentónicos. Algunos consideran efectos fisiológicos o efectos en la salud pública (Vázquez-Botello *et al.*, 2004)

El sistema lagunar Pueblo Viejo-Tamiahua-Tampamachoco tiene una larga historia de contaminación con desechos petroleros, mineros y domésticos de ciudades cercanas (Rosas *et al.*, 1983; Atwood *et al.*, 1987; Botello y Calva, 1998 y Botello *et al.*, 2005).

En el Canal el Chijol en Tamaulipas, Ávila-Pérez y Zarazúa-Ortega (1993) observaron una elevación progresiva de los metales (V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn y Pb) a medida que se reducía la distancia a la refinería de Ciudad Madero. Determinaron la concentración de en agua superficial y de profundidad media y en sedimento.

Vázquez *et al.* (2001) encontraron Cu, Pb, Cd, Cr, Mn, Zn, Ag, Ba y Fe en músculo, gónada y vísceras de peces y camarones de la Sonda de Campeche; concluyen que la concentración de estos metales no presenta variaciones en función del área de colecta, con excepción del Ba y el Zn. Estos metales se reportaron en concentraciones más altas en los músculos y gónadas de organismos colectados dentro del área de circulación restringida, adyacente a las plataformas marinas.

En el sistema lagunar de la Mancha se reportan concentraciones máximas de Pb en el mes de septiembre con 1.77 µg/g y la mínima en enero con 0.58 µg/g; la concentración máxima en sedimento fue de 23.24 µg/g. Los factores en el proceso de contaminación de la laguna se deben a las emisiones atmosféricas provenientes de ingenios azucareros y una asfaltadora que se localiza a pocos kilómetros, además del gasoducto que atraviesa la boca de la laguna que impide el paso normal de la corriente intermareal al sistema, lo cual impide la dilución de la concentración de metales (Luna *et al.*, 2002)



En la laguna Mandinga se encontraron variaciones en los niveles de Cd, Cr y Pb en distintas concentraciones para muestras de agua y sedimento que están directa o indirectamente relacionados con factores naturales y/o antropogénicos (García-García, 2005).

También en Tamaulipas, Vázquez-Sauceda *et al.*, (2005) determinaron la concentración de Cd y Pb en la laguna de San Andrés Aldama, observaron niveles significativamente superiores de ambos metales en la estación cercana a la desembocadura del río Tigre, lo que sugiere que los aportes del río descargan contaminación a la laguna. En las estaciones lejanas a la desembocadura del río encontraron altas concentraciones de Pb en sedimentos lo que podría explicarse por el bajo recambio de agua en la zona favoreciendo la acumulación del metal.

Aragón-López *et al.*, (2009) observaron el siguiente patrón de concentración: Al > Zn > Pb > Cu > Cd en sedimentos de la laguna de Alvarado y la Mancha. En la laguna de Alvarado el Pb fue el metal más abundante en el mes de marzo y el Zn en agosto. En la laguna de la Mancha fue el Al el elemento con mayor concentración. Los autores concluyen que las concentraciones están por encima de las concentraciones permitidas por la NOM-031-SSA-1994.

Mendoza-Díaz (2010) determinó en el camarón café *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) de la laguna de Tampamachoco, la presencia de Cd, Cr, Cu y Pb; reportando concentraciones máximas de Cd: 1.55 mg/kg, Cr: 2.32 mg/kg, Cu:

18.625 mg/kg. Todas las muestras rebasaron los LMP para Cd. El Cr y Cu estuvieron por debajo de los límites permisibles y el Pb no se detectó.

En la laguna de Tampamachoco López-Ortega (2012) encontró que las concentraciones de Cr, Cu, Ba en agua de la laguna sobrepasan los límites permisibles por la NOM-001-ECOL-1996; en el mismo estudio determinó que la concentración de Pb, Cr, Cd, Cu y Ba en tejidos de *Eugerres plumieri* (Cuvier, 1830) se encuentran por encima de los límites permisibles por las normas nacionales e internacionales.

En el mismo cuerpo lagunar López-Jiménez (2012) determinó la presencia de los metales; Cr, Ba, Pb, Cd, Cu y Hg en sedimentos del fondo de la laguna y en ejemplares *Mugil curema* Valenciennes, 1836. No se detectó Cd y Hg en sedimentos. En los tejidos el Pb y el Ba superaron el límite permisible ya que rebasan los 0.5 mg/kg que establece la NOM-242-SSA-1-2009, el Cr superó el 1 mg/kg establecido por la oficina de Gobierno de Hong Kong, el Cu estuvo por debajo de los 32.5 mg/kg indicados por la FAO.

Godínez-Campos (2012) estudió la presencia de metales en *Neritina reclinata*, Say, 1822 asociados a los manglares de la laguna de Tampamachoco; no detectó presencia de Pb y Hg en tejido y concha. Sin embargo las concentraciones de Cr y Cu no rebasaron los LMP que establece la normatividad internacional FAO y FDA respectivamente. En los tejidos y conchas el Cd supera el LMP por la NOM-242-SSA-1-2009

Entre los estudios que evalúan la contaminación por metales pesados en organismos bivalvos se encuentran los realizados por Peake *et al.*, (2010) evaluaron las concentraciones de Cd, Cu y Fe en pectínidos, encontraron las concentraciones más altas en los órganos digestivos y las menores en el músculo aductor. Observaron que los metales se acumulan más en los tejidos metabólicamente más activos.

En el Golfo de México Ponce-Vélez y Botello (1991) reportan presencia de metales pesados en *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) de la Laguna de Términos, Campeche; la concentración de metales incrementa notablemente en la época de lluvias que también coincide con el incremento de tasa metabólica para desove en septiembre (agosto), menos el Pb que se incrementa en la época de nortes. La concentración de metales pesados esenciales (Cu y Zn) aumenta de la siguiente manera: secas < nortes < lluvias. Los potencialmente tóxicos tienen variaciones irregulares en las diferentes estaciones (Ni, Co, Cr, Cd, Pb).

En La especie *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) de la laguna Sontecomapan González-Fierro *et al.*, (1994) evaluaron la concentración de Cu, Co, Cr, Ni, Zn, Cd y Pb. Encontrando Zn: 172.99 ppm, Cu 25.72 ppm y Cr: 6.23 ppm; los otros elementos se detectaron en bajas cantidades. Los elevados niveles de Zn están asociados al Ca que se encuentra en el medio circundante. Por las bajas concentraciones de metales concluyeron que la laguna de

Sontecomapan pudo considerarse no contaminada para los años 1991-1992, sin riesgo a las especies que la habitaban.

García-García (2005) encontró que en ostiones de la laguna Mandinga, Veracruz la concentración de metales rebasa el Límite Máximo Permisible para el consumo de productos pesqueros.

Aragón-López *et al.*, (2009) encontraron que las concentraciones de: Al, Zn, Pb, Cu y Cd, en el ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) de Alvarado y La Mancha están por encima de las concentraciones permitidas por la NOM-031-SSA-1994.

Lango-Reynoso *et al.*, (2010) evaluaron la acumulación de metales pesados (Cd, Pb y As) en *Crassostrea virginica* en el sistema lagunar Tamiahua, Veracruz, observando diferencias de concentración entre los tejidos manto-músculo-ctenidio (MMG) y gónada-glándula digestiva.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 General

Determinar la concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en *Isognomon alatus* (Gmelin 1791); la relación con variables fisicoquímicas y con la talla/peso de los organismos.

#### 3.2 Particulares

- Medir las variables fisicoquímicas: temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto en agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.
- Identificar los factores morfológicos: talla y peso que puedan afectar o que son afectados por la concentración de metales pesados.
- Determinar la concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en cuerpo blando y concha de *Isognomon alatus*.
- Relacionar la concentración de metales en cuerpo blando y concha con los factores morfológicos y fisicoquímicos.

## 4 ÁREA DE ESTUDIO

### 4.1 Laguna de Tampamachoco

La Laguna Tampamachoco (Fig 2) se ubica a nueve kilómetros de la ciudad de Tuxpan, Veracruz, pertenece al complejo estuarino-lagunar de Tamiahua y Pueblo viejo; también es parte del sitio RAMSAR No 1602 “Manglares y humedales de Tuxpan” que comprende: la laguna de Tampamachoco y los esteros de Tumilco y Jácome ubicado en la Región Terrestre Prioritaria para la Conservación (RTP-103) de CONABIO (Basáñez-Muñoz, 2005). La laguna tiene forma alargada y es paralela a la línea de costa, separada del Golfo de México por la Barra Galindo que es barra arenosa; su longitud es de 10.6 km y su ancho máximo de 2.7 km. Se ubica entre los paralelos 20° 58' a 21° 05" de latitud norte y los meridianos 97° 24' de longitud oeste (Reguero *et al*, 1991).

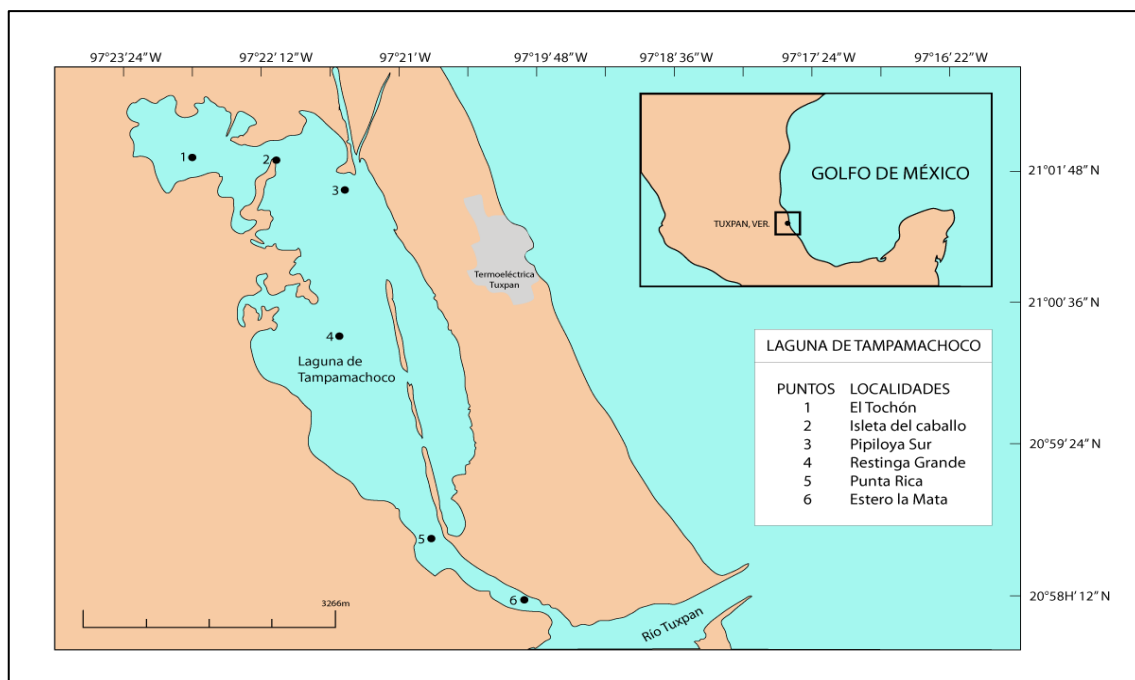


Figura 2. Laguna Tampamachoco. Sitios de muestreo

La laguna se comunica al norte con la laguna de Tamiahua mediante los canales de navegación “El Nuevo” y “El Viejo”; al noroeste desemboca el estero “El Angosto”, al sur se comunica con la desembocadura del río Tuxpan. (Reguero *et al.*, 1991). Se registran valores de profundidad de más de tres metros en los canales de navegación; sin embargo, el promedio es de un metro (Reguero *et al.*, 1991).

La región central de la laguna se comporta de manera homogénea, mientras que en la época de lluvias se aprecian condiciones disímiles en el ambiente. La salinidad es la variable de mayor peso para definir las características ambientales tanto en el tiempo como en el espacio de éste cuerpo lagunar (López-Ortega, 2012).

#### 4.2 Sitios de muestreo

Se realizó una prospección del área de estudio y se seleccionaron seis sitios para el muestreo:

1. Tochón: Zona de las lagunetas. Colinda con ranchos ganaderos al norte de la laguna. La zona es medianamente explotada en la recolección de ostión.
2. Isleta del Caballo: Comienza la zona de las lagunetas, no hay asentamientos urbanos. La recolección de ostión en esta zona es intensa
3. Pipiloja Sur: Aquí inician los canales de navegación que comunican a la laguna con el mar (nuevo) y con la laguna de Tamiahua (viejo).
4. Restinga Grande: se encuentra frente a la Central Termoeléctrica Adolfo López Mateos. Zona expuesta a los contaminantes expulsados por las chimeneas de la CTALM. La recolección de ostión es mayor en esta zona.
5. Punta Rica: Término de la zona estuarina-marina e inicio del cuerpo principal de la laguna; no hay asentamientos humanos. La restinga se aprovecha en baja intensidad para la recolección de ostión.
6. La Mata: se encuentra al sur, en el punto de confluencia entre el agua de la laguna, del río y del mar (zona estuarina-marina). Colinda con las comunidades de la Mata y Tampamachoco y con el Hospital del IMSS. Las restingas de esta zona actualmente no son aprovechadas para la recolección de ostión.



## 5 MATERIAL Y MÉTODO

### 5.1 Muestreo

Se realizaron muestreos mensuales en los bancos elegidos por un periodo de un año, Septiembre 2012- Octubre 2013. Los muestreos se iniciaron cada mes a las nueve de la mañana en el sitio “El Tochón”; Se tomaron datos de las parámetros ambientales en el agua, temperatura superficial (°C), pH, salinidad (ups) y oxígeno disuelto (mg/L) con una sonda multiparámetro marca Hanna HI 9828 (Fig 3); se introdujo la sonda a 30 cm de profundidad para obtener los valores de temperatura superficial del agua, salinidad y pH (Páez Osuna *et al.*, 1988).



Figura 3. Sonda multiparámetro marca Hanna HI 9828

Se tomaron muestras de agua en frascos Winkler para la determinación de oxígeno disuelto conforme a la NOM NMX-AA-012-SCFI-2001 que indica la determinación del oxígeno disuelto por el Método Winkler modificado con azida

(Fig 4). Las muestras se tomaron evitando la formación de burbujas; dirigiendo la boca del frasco al lado contrario de la dirección de la corriente de agua, posteriormente se adicionaron los reactivos para la fijación del oxígeno disuelto y se almacenaron para terminar el Método Winkler en el laboratorio.



Figura 4. Fijación del Oxígeno disuelto por el método Winkler

Posterior a la medición de las variables fisicoquímicas se recolectaron las muestras del bivalvo callo de árbol por muestreo directo (Fig 5), se recolectó una muestra de al menos 10 organismos en cada sitio cada mes por un año. Las muestras, se colocaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en hielo (Fig 6).



Figura 5. Recolección por muestreo directo de *I. alatus*



Figura 6. Almacenamiento de muestras para traslado

## 5.2 Medición de talla y peso

Las muestras se limpiaron por la parte externa de incrustaciones con un cuchillo y de sedimento con agua destilada; se pesó cada ejemplar en una balanza digital: haciendo tres tomas de peso: peso fresco total, cuerpo blando fresco y cuerpo blando seco. Se midió la altura y longitud de la concha estableciendo el eje dorso-ventral mediante la alineación de la charnela con una regla, una vez alineado se tomó en centímetros la medida del eje dorso-ventral y antero-posterior. Posteriormente se separó el cuerpo blando de la concha para enjuagarlo con agua destilada, las muestras se secaron a peso constante a 50°C en una estufa. Los datos de altura, longitud, peso fresco total, peso fresco del cuerpo blando y peso del cuerpo blando seco se ingresaron en una base de datos.

### 5.3 Determinación de metales

Las muestras secas de cuerpo blando y concha se homogeneizaron finamente en un mortero de porcelana para realizar digestión con ácido nítrico concentrado (Merck) para la extracción de los metales pesados. En la figura 7 se observa el procedimiento de la preparación de muestras para la determinación de metales.

Para la digestión se requiere 1.0g de muestra por triplicado y 10 ml ácido nítrico concentrado. Se prepararon las tres muestras de tejido en tres matraces kjeldahl, a una de ellas se le adicionó (500 µl) del multielemento IPC Analytic Mixtrure 5High Purity Std., como referencia. Se preparó un blanco de 20 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y un blanco referenciado 20 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y 500 µl de estándar multielemento. Se realizó la digestión calentando las muestras en un equipo microkjeldalh evitando la ebullición hasta obtener una solución cristalina. La muestra resultante se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró en papel whatman # 40 con el fin de quitarles cualquier tipo de residuo el filtrado se aforó a 50 ml con ácido nítrico al 5% preparado con agua desionizada. Las muestras digeridas se depositaron en recipientes de polipropileno para su posterior análisis.

Previo a la lectura de las muestras se realizó una curva de calibración en el espectrofotómetro con estándares de referencia a diferentes concentraciones para cada metal analizado. La determinación de la concentración de metales

pesados en muestras de cuerpo blando y concha se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC HG3000 Avanta, con flama de aire-acetileno. Los resultados fueron recopilados en una base de datos para el análisis estadístico.

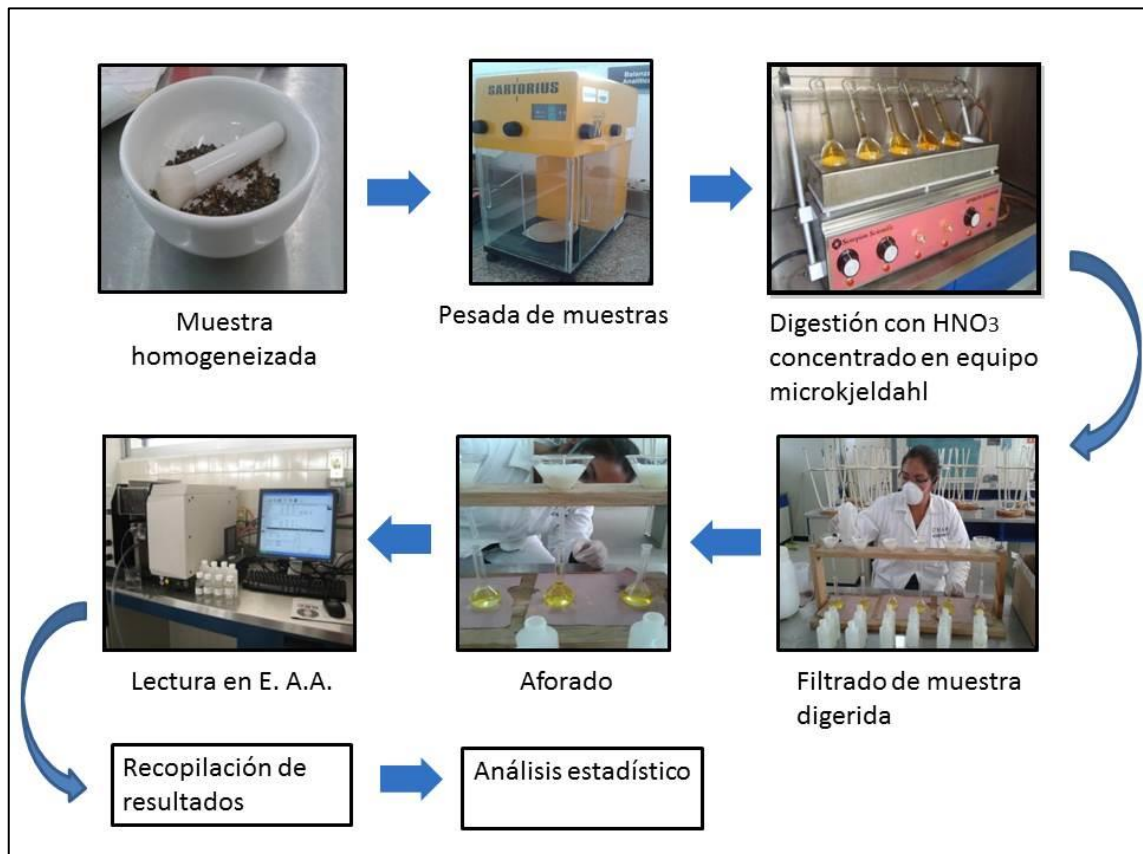


Figura 7. Preparación de muestras para lectura en Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

#### 5.4 Análisis estadísticos

Se hizo un análisis descriptivo del comportamiento de cada variable fisicoquímica y de la talla y peso de *I. alatus* para observar tendencias y diferencias espaciales y/o temporales.

Se probó normalidad para cada variable por sitio y por temporada; con lo anterior se decidió hacer los análisis paramétricos o no paramétricos. Se hicieron análisis para encontrar diferencias de cada variable por sitio y temporada usando Kruskal-Wallis o ANOVA, Mediante el análisis de la correlación de Pearson o Spearman en el programa estadístico R se hicieron las correlaciones de los factores fisicoquímicos y la talla/peso con la concentración de metales.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Variables fisicoquímicas

#### 6.1.1 Salinidad

La salinidad disminuye en dirección sur-norte; el sitio que presentó los valores más altos de salinidad todo el año fue el sitio 6 “La Mata” que tiene mayor influencia de las mareas. El valor mínimo de salinidad se presentó en el sitio 1 “El Tochón” el mes de Octubre (6.57 ups); el valor máximo en el sitio 1 el mes de Mayo (37.34 ups). El mayor promedio anual se presentó en el sitio 6 “La Mata” con 29.34 ups, el menor en el sitio 1 “El Tochón” con 24.86 ups (Fig. 8). Se hicieron pruebas Kruskal-Wallis obteniendo  $p < 0.05$ ; con una confianza del 95% la salinidad presenta diferencias significativas en las temporadas climáticas; la temporada de estiaje es diferente a las temporadas de lluvias y nortes; no hay diferencias significativas entre los sitios.



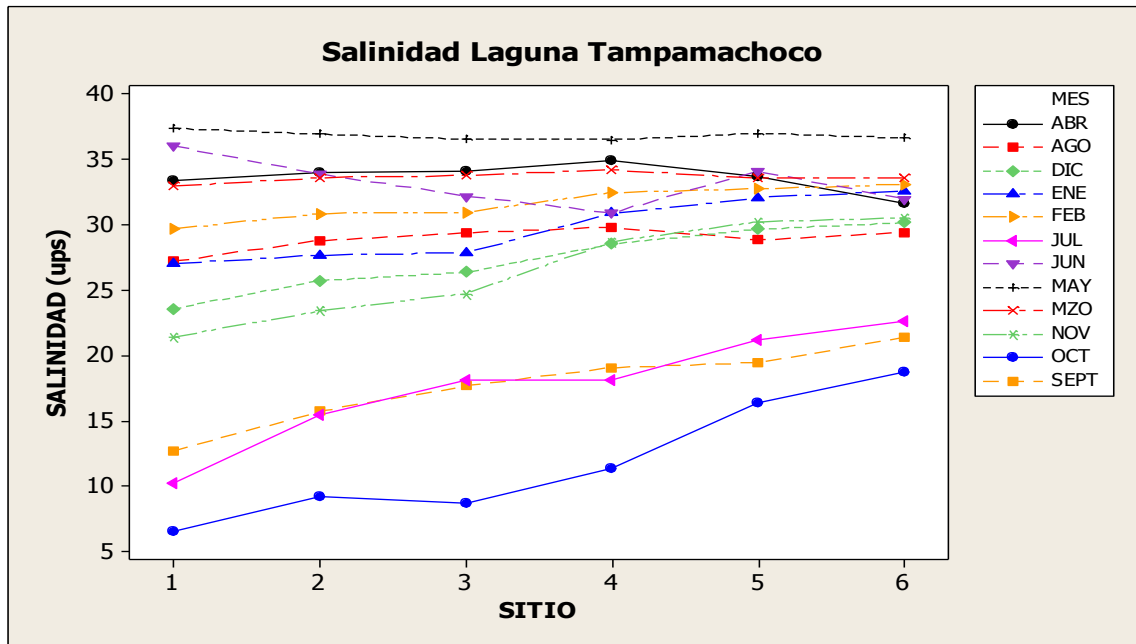


Figura 8. Salinidad (ups) de la Laguna Tampamahoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013.

### 6.1.2 Temperatura

En el mes de agosto se tomaron los niveles máximos de temperatura, mientras que en enero se tomaron los niveles mínimos. El valor mínimo de temperatura se presentó el mes de enero en el sitio 1 “El Tochón” (18.68°C); el valor máximo en el sitio 4 “Restinga grande” el mes de agosto (30.82 °C). El mayor promedio anual se presentó en el sitio 4 “Restinga grande” con 26.59 °C y el menor en el sitio 1 “Tochón” con 25.85 °C. (Fig.9). Se hizo una prueba Kruskal-Wallis obteniendo  $p < 0.05$ ; con una confianza del 95% la temperatura superficial del agua en la temporada de lluvias es diferente (mayor) a las temporadas de estiaje y nortes; no hay diferencias significativas entre los sitios.

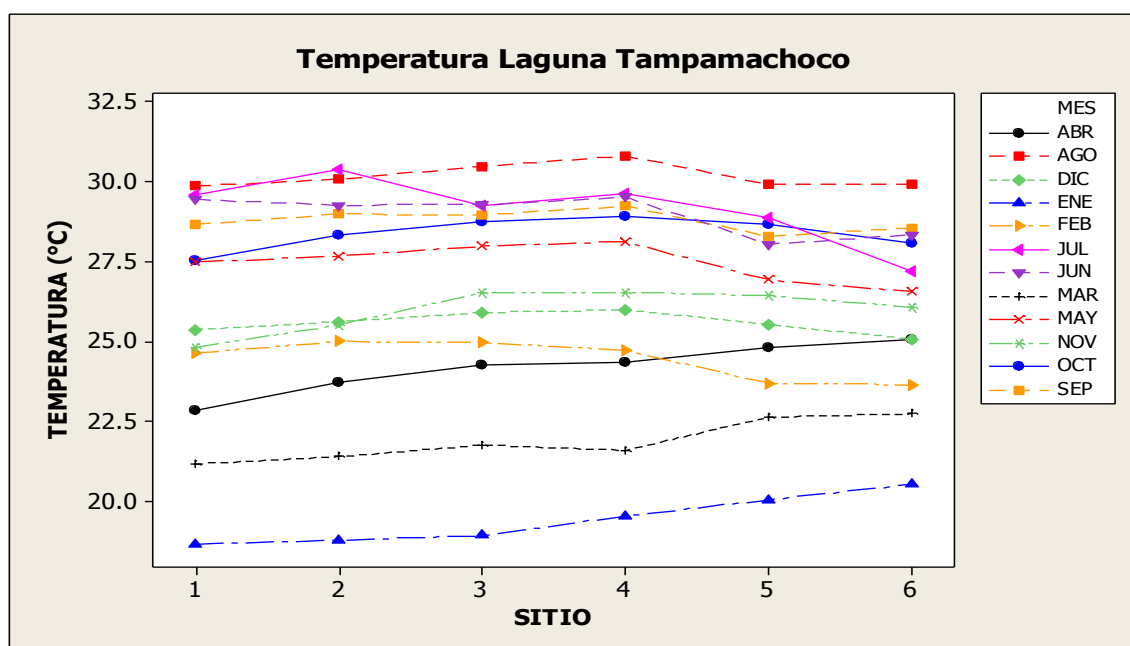


Figura 9. Temperatura superficial del agua (°C) de la laguna Tampamahoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013.

### 6.1.3 pH

Lo valores de pH tomados durante los 12 meses de muestreo no muestran una tendencia de comportamiento espacial o temporal. El valor mínimo se presentó en el mes de agosto en el sitio 2 “Isleta del Caballo” (7.35); el valor máximo el mes de marzo en el sitio 1 “El Tochón” (9.21). El mayor promedio anual se presentó en el sitio 5 “Punta rica” con 8.65 de pH y el menor en el sitio 1 “Tochón” con 8.36 de pH. (Fig. 10). Se hizo una prueba Kruskal-Wallis obteniendo  $p > 0.05$ ; con una confianza del 95% el pH no presenta diferencias temporales; no hay diferencias significativas entre los sitios.

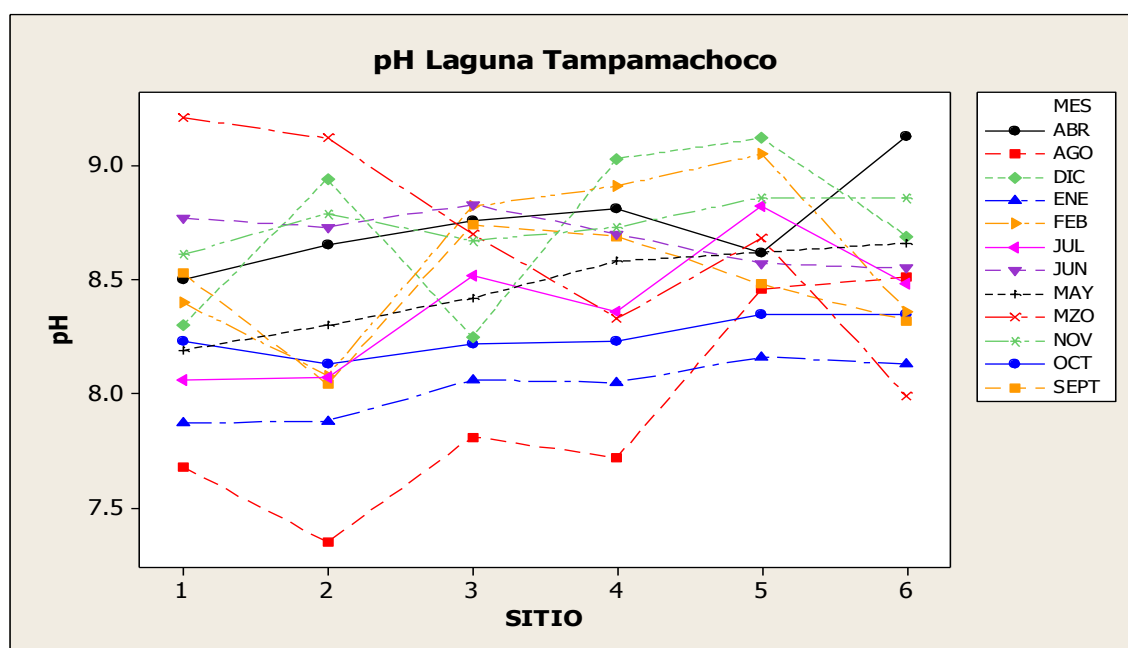


Figura 10. pH del agua de la Laguna Tampamahoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013

#### 6.1.4 Oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto determinadas durante los 12 meses de muestreo no muestran una tendencia de comportamiento espacial o temporal. El valor mínimo se determinó para el sitio 2 “Isleta del Caballo” el mes de agosto (2.75), mientras que el valor máximo en el sitio 5 “Punta rica” el mes de enero (6.98 mg/L). El mayor promedio anual se presentó en el sitio 5 “Punta rica” con 4.90 mg/L y el menor en el sitio 3 “Pipiloya sur” con 5.60 mg/L. (Fig. 11). Se hizo un ANOVA  $p < 0.05$ ; con una confianza del 95% la concentración de oxígeno disuelto del agua en la temporada de lluvias es diferente a las temporadas de estiaje y nortes. No hay diferencias significativas entre los sitios.

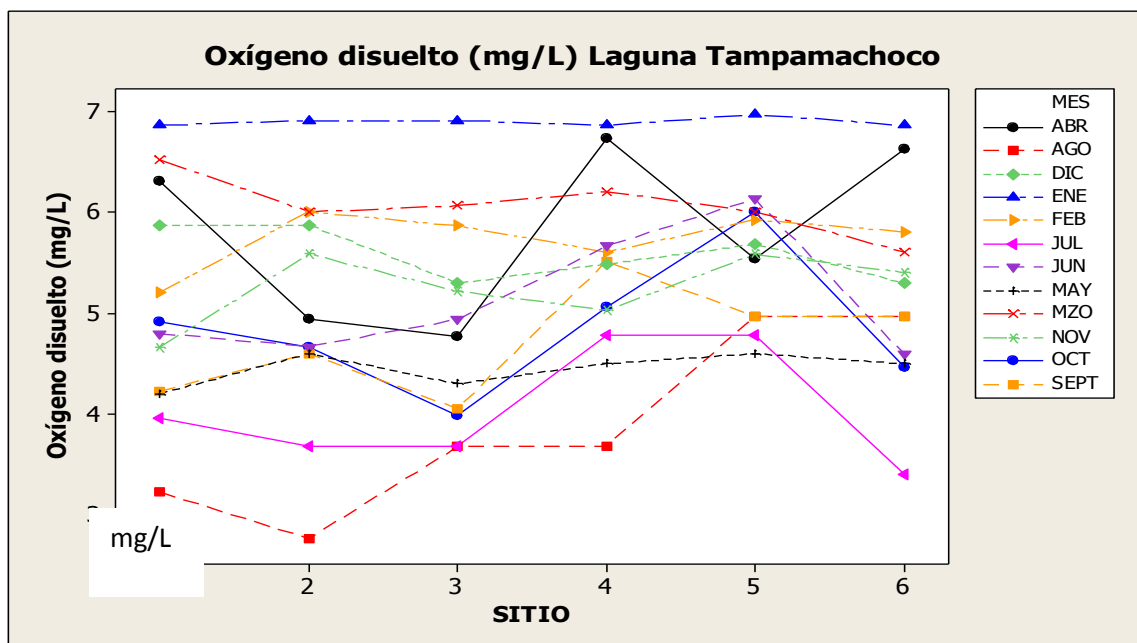


Figura 11. Concentración de Oxígeno disuelto (mg/L) en el agua de la Laguna Tampamachoco, Veracruz, durante el periodo octubre de 2012 a septiembre de 2013.

## 6.2 Talla/peso

### 6.2.1 Altura

En la figura 12 se observa el promedio de la altura de *I. alatus* en cada sitio de la laguna Tampamachoco en un año. La altura de los organismos disminuye en dirección sur desde el sitio 4 “Restinga grande” hacia el sitio 6 “La Mata”. Se hizo una prueba Kruskal-Wallis para saber si existen diferencias en la altura de los organismos de los seis sitios; con una confianza del 95% se obtuvo un valor de  $p < 0.05$ ; por lo que al menos uno de los sitios la altura de la concha de *I. alatus* es diferente. Se encuentran diferencias en la altura en cada temporada de muestreo. Las conchas de los organismos recolectados en la temporada de estiaje son de menor altura.

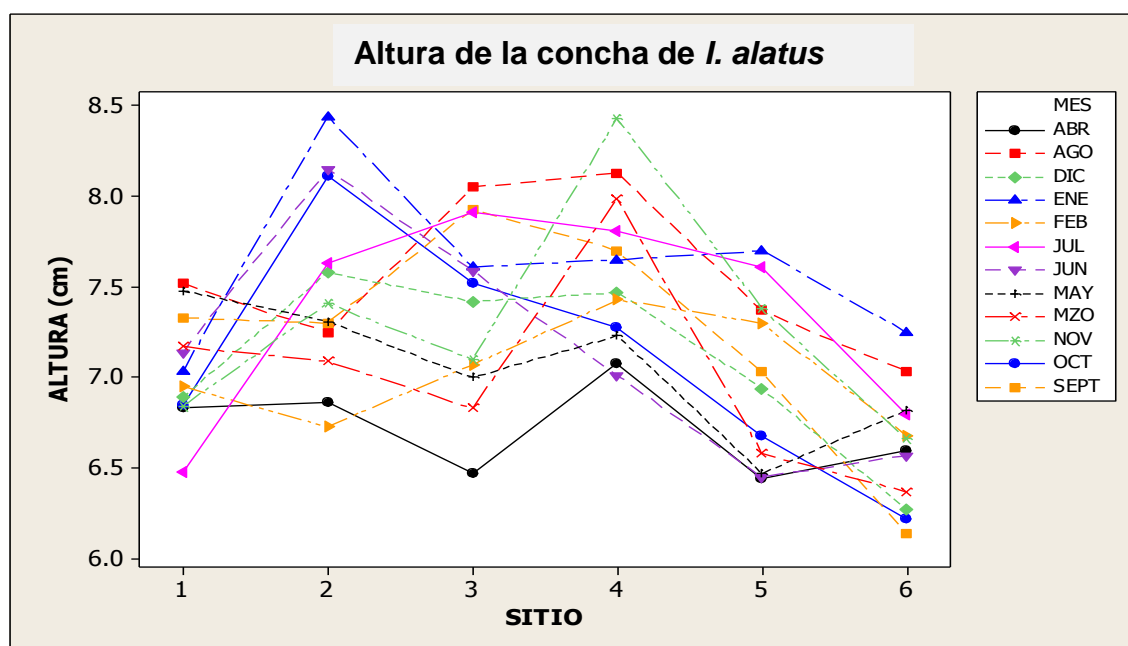


Figura 12. Altura promedio (cm) de *I. alatus* por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

### 6.2.2 Longitud

En la figura 13 se observa el promedio de la longitud de *I. alatus* en cada sitio de la laguna Tampamachoco en un año. La longitud de los organismos disminuye en dirección sur desde el sitio 4 “Restinga grande” hacia el sitio 6 “La Mata”. Cada mes los organismos con mayor longitud se encontraron en el sitio 2 “Isleta del Caballo” y en el sitio 4 “Restinga grande”. Se hizo una prueba Kruskal-Wallis para saber si existen diferencias en la longitud de los organismos de los seis sitios; con una confianza del 95% se obtuvo un valor de  $p < 0.05$ ; por lo que al menos uno de los sitios la longitud de la concha de *I. alatus* es diferente. Se encuentran diferencias en la longitud en cada temporada de muestreo. Las conchas de los organismos recolectados en la temporada de estiaje son de menor longitud.

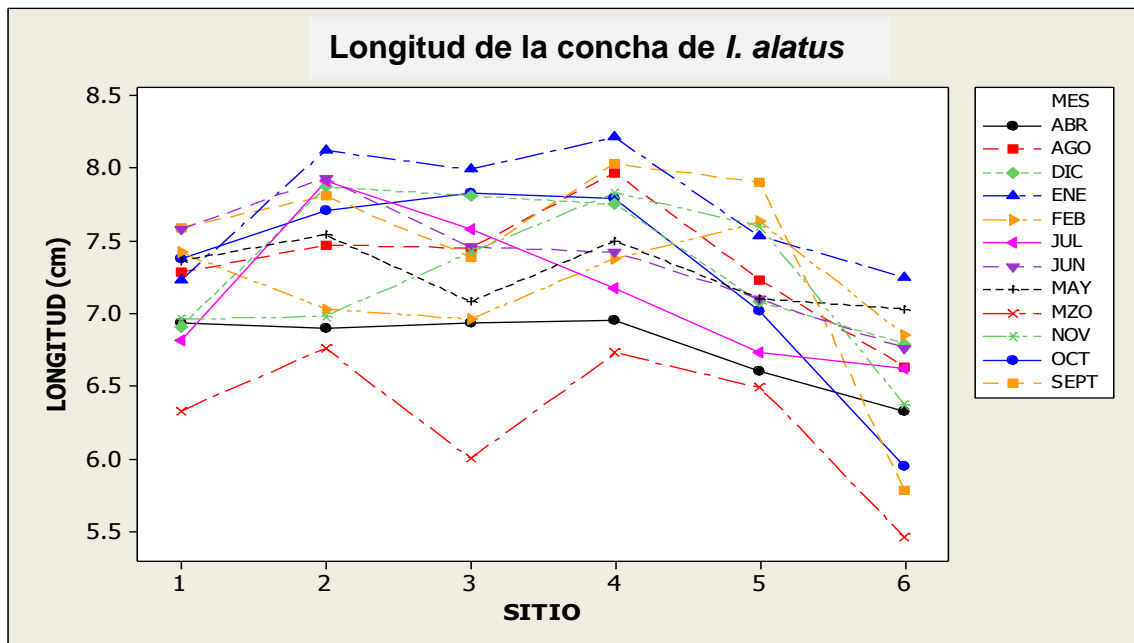


Figura 13. Longitud promedio (cm) de *I. alatus* por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

### 6.2.3 Peso del cuerpo blando en fresco

En la figura 14 se observa el promedio del peso fresco del cuerpo blando de *I. alatus* en cada sitio de la laguna Tampamachoco en un año tiende a disminuir en dirección norte-sur. Las medidas de peso más altas se registraron en el sitio 2 “Isleta del caballo” y las menores en el sitio 6 “La Mata”. Se hizo una prueba Kruskal-Wallis para saber si existen diferencias en el peso en fresco del cuerpo blando de los organismos de los seis sitios; con una confianza del 95% se obtuvo un valor de  $p < 0.05$ ; por lo que al menos uno de los sitios el peso del cuerpo blando en fresco de *I. alatus* es diferente. El peso del cuerpo blando en fresco no presenta diferencias estadísticamente significativas entre temporadas, aunque se observa que las recolectadas en temporada de estiaje presentaron mayor peso y las que se recolectaron en nortes fueron de menor peso.

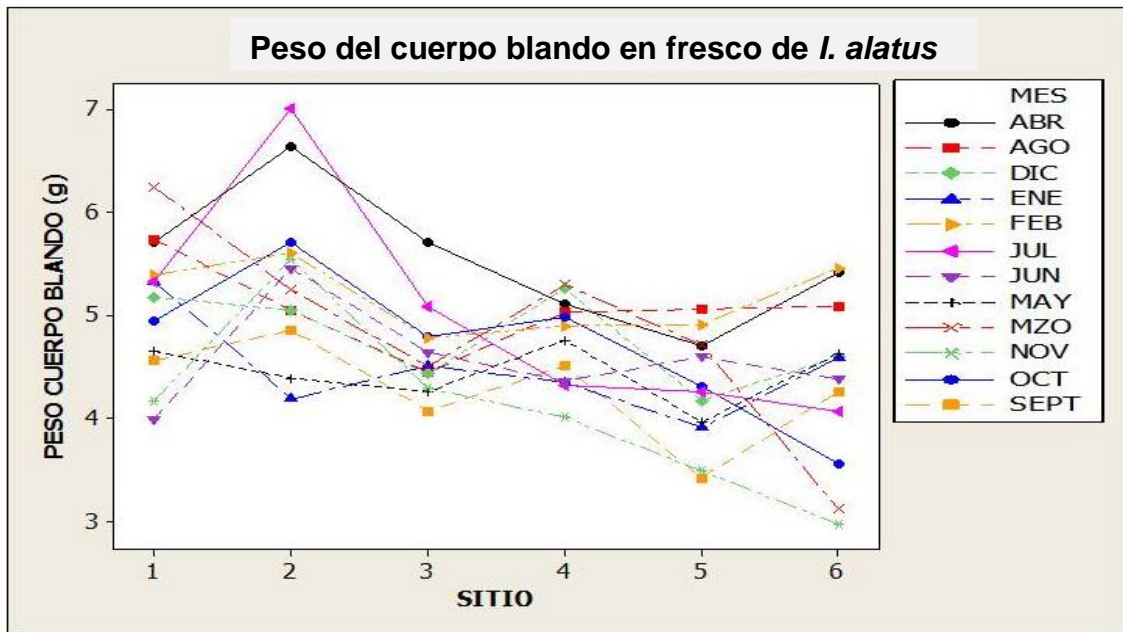


Figura 14. Peso promedio (g) del CB en fresco por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

#### 6.2.4 Peso fresco

En la figura 15 se observa el promedio del peso fresco de *I. alatus* en cada sitio de la laguna Tampamachoco en un año tiende a disminuir en dirección norte-sur. Las medidas de peso más altas se registraron en el sitio 2 “Isleta del caballo” y las menores en el sitio 5 “Punta rica”. Se hizo una prueba Kruskal-Wallis para saber si existen diferencias en el peso en fresco de *I. alatus* (concha y cuerpo blando) de los organismos de los seis sitios; con una confianza del 95% se obtuvo un valor de  $p < 0.05$ ; por lo que al menos uno de los sitios el peso en fresco de *I. alatus* es diferente. El peso en fresco de *I. alatus* presenta diferencias significativas en las diferentes temporadas, siendo mayor el peso en los organismos recolectados en la temporada de Nortes.

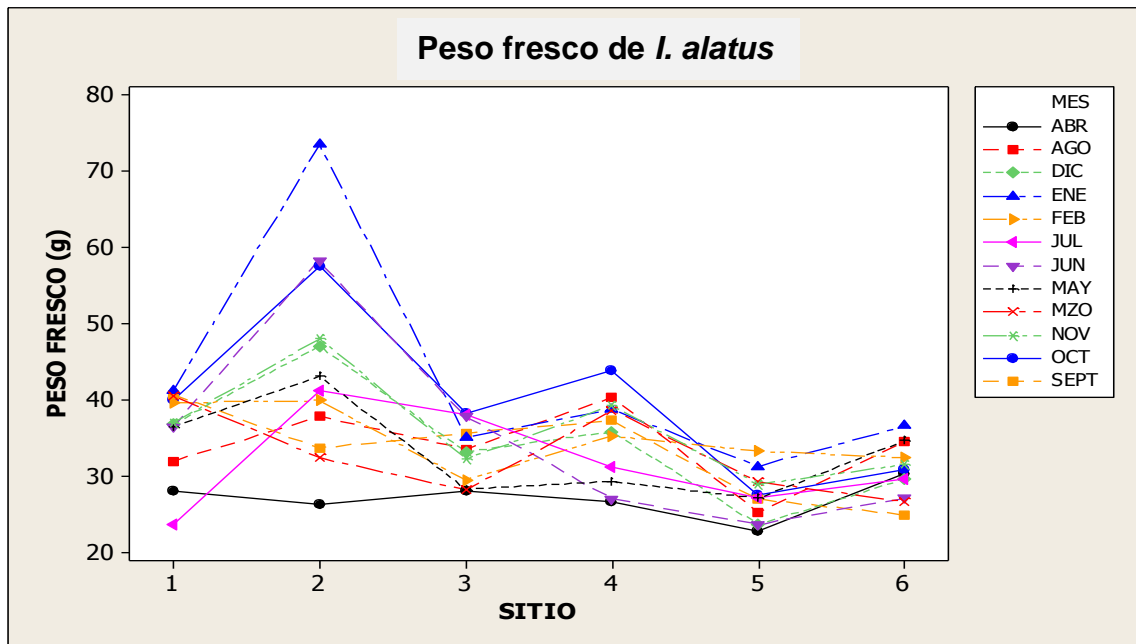


Figura 15. Peso fresco total promedio (g) de *I. alatus* por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.



### 6.3 Concentración de metales

#### 6.3.1 Cadmio

##### 6.3.1.1 Concentración de Cd en cuerpo blando

Se encontraron niveles de concentración de Cd en el cuerpo blando de *I. alatus* por encima del Límite Máximo Permisible por la NOM-001-ECOL-1993 de 0.5 mg/kg en moluscos. Se presentó mayor concentración de Cd los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2012, El sitio con los valores más altos de Cd en cuerpo blando de *I. alatus* fue el sitio 2 “Pipiloya sur” con 6.75 Cd mg/kg. A partir de ese sitio en general se observa disminución en la concentración de Cd en dirección norte-sur. Se observa que los sitios 2 y 4 presentan las concentraciones más altas en cada mes. (Fig. 16).

Se hicieron pruebas Kruskal-Wallis que con una confianza del 95 % y un valor de  $p < 0.05$  indican que existen diferencias entre los sitios; el sitio 2 “Isleta del Caballo” presenta las mayores concentraciones y los sitios 5 y 6 (Punta Rica y La Mata) las menores. También hay diferencias significativas en la concentración de Cd en cuerpo blando en las tres temporadas de muestreo. La temporada de Nortes muestra las mayores diferencias y presenta las concentraciones más altas

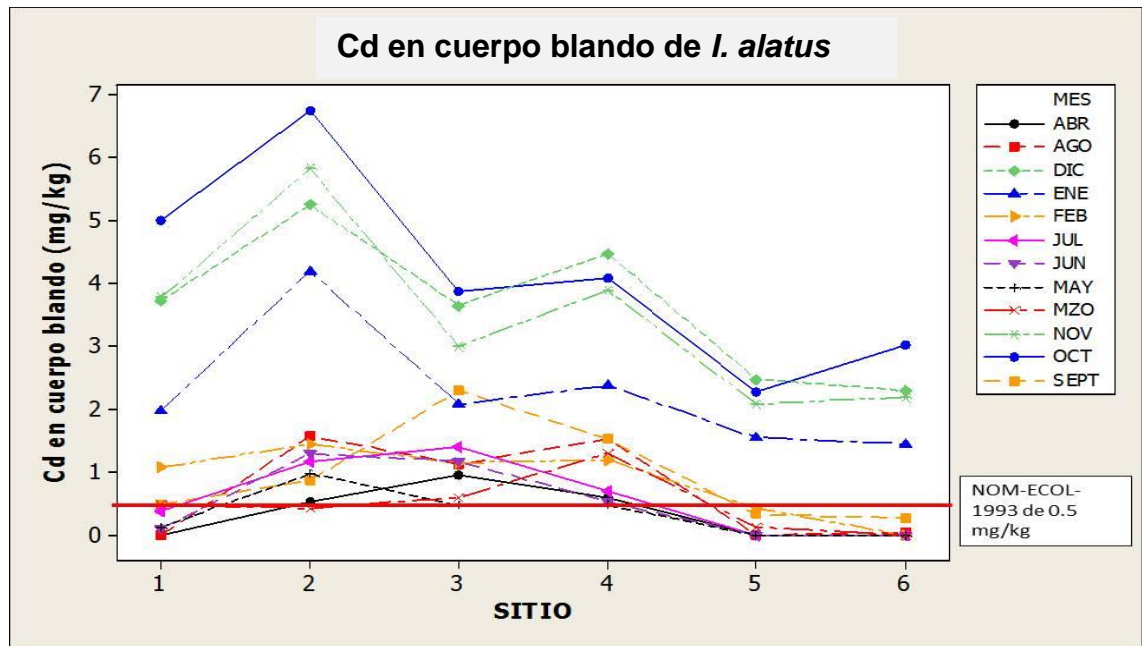


Figura 16. Concentración de Cd en concha de *I. alatus* (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

### 6.3.1.2 Concentración de Cd en concha

Los valores de Cd en concha no muestran diferencias significativas espacialmente. El valor máximo se encontró en el sitio 6 “La Mata” el mes de diciembre con 1.5 mg/kg, el menor en el sitio 4 “Restinga grande” el mes de marzo con 0.2 mg/kg (Fig. 17). Los meses correspondientes a la temporada de Nortes (diciembre y enero) son los que presentan los mayores niveles de concentración de Cd en concha. Se hizo una prueba Kruskal-Wallis; con un valor de  $p > 0.05$  no existen diferencias entre los sitios. Se usó la misma prueba para determinar diferencias temporales ( $p < 0.05$ ); la concentración de Cd en concha es diferente entre estaciones climáticas; siendo la temporada de estiaje diferente a la de nortes y lluvias.

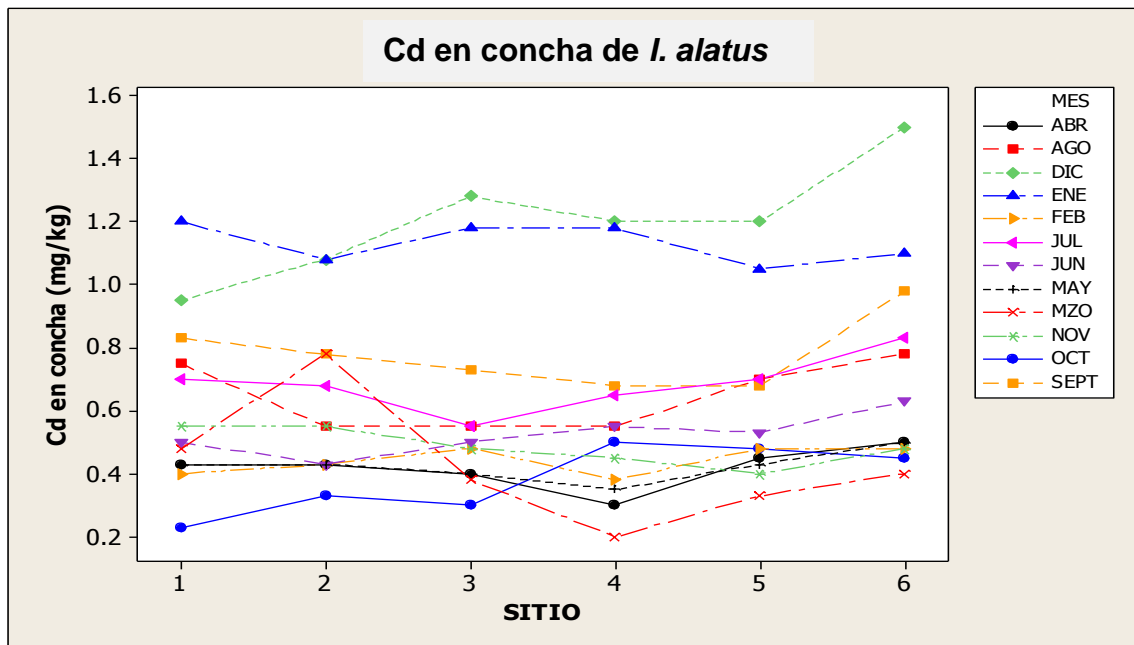


Figura 17. Concentración de Cd en cuerpo blando de *I. alatus* (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

### 6.3.2 Cromo

#### 6.3.2.1 Concentración de Cr en cuerpo blando

Los valores de Cr en cuerpo blando de *I. alatus* se encuentran por debajo de los límites establecidos por la FDA, 2003 para el consumo de mariscos: 13 mg/kg para Cr. La máxima concentración de este metal se presentó en el sitio 2 “Isleta del Caballo” con 1.78 mg /kg. (Fig. 18)

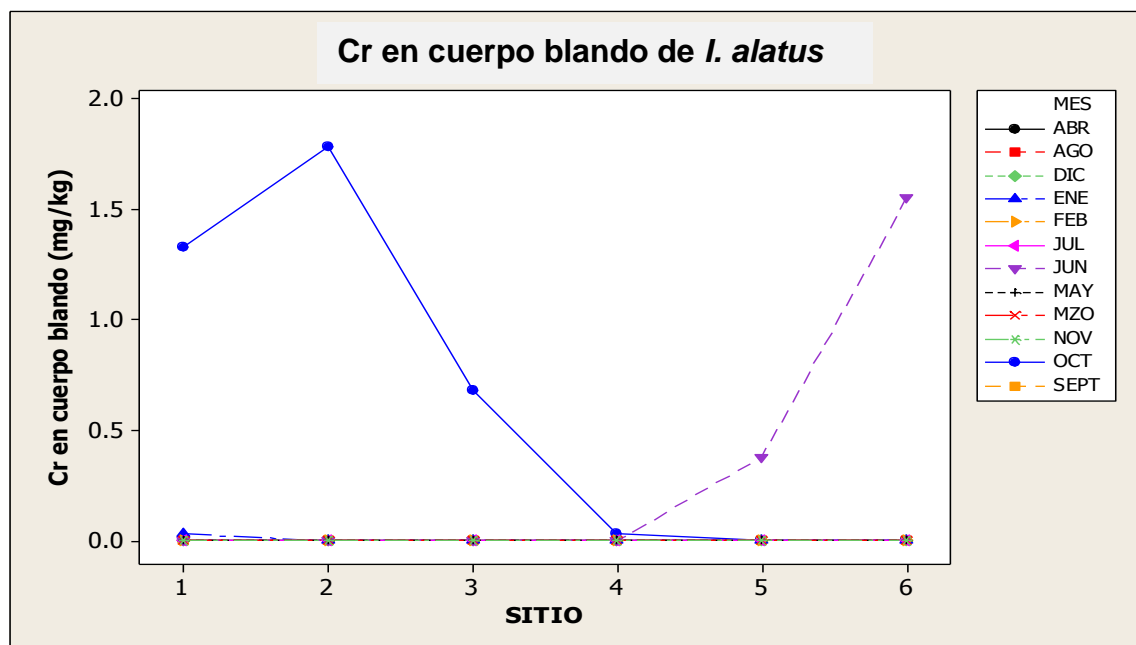


Figura 18. Concentración de Cr en cuerpo blando de *I. alatus* (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

### 6.3.2.2 Concentración de Cr en concha

La concentración de Cr en concha no rebasa el límite de 13 mg/kg establecido por la FDA (2003). El valor máximo se presentó en los sitios 2 “Isleta del Caballo” y 3 “Pipiloya sur” con 4.88 mg/kg; en algunos sitios. Los meses de noviembre y diciembre no se detectó la presencia de Cr en concha (Fig. 19). Los meses de enero y febrero (término de la temporada de nortes e inicio de la temporada de estiaje) presentaron los valores más altos de Cr en concha. Se hizo una prueba Kruskal-Wallis; con un valor de  $p > 0.05$  no existen diferencias entre los sitios. Se usó la misma prueba para determinar diferencias temporales ( $p < 0.05$ ); la concentración de Cr en concha es diferente entre estaciones climáticas; siendo la temporada de nortes (presenta las menores concentraciones de Cr en concha) diferente a la de estiaje y lluvias.

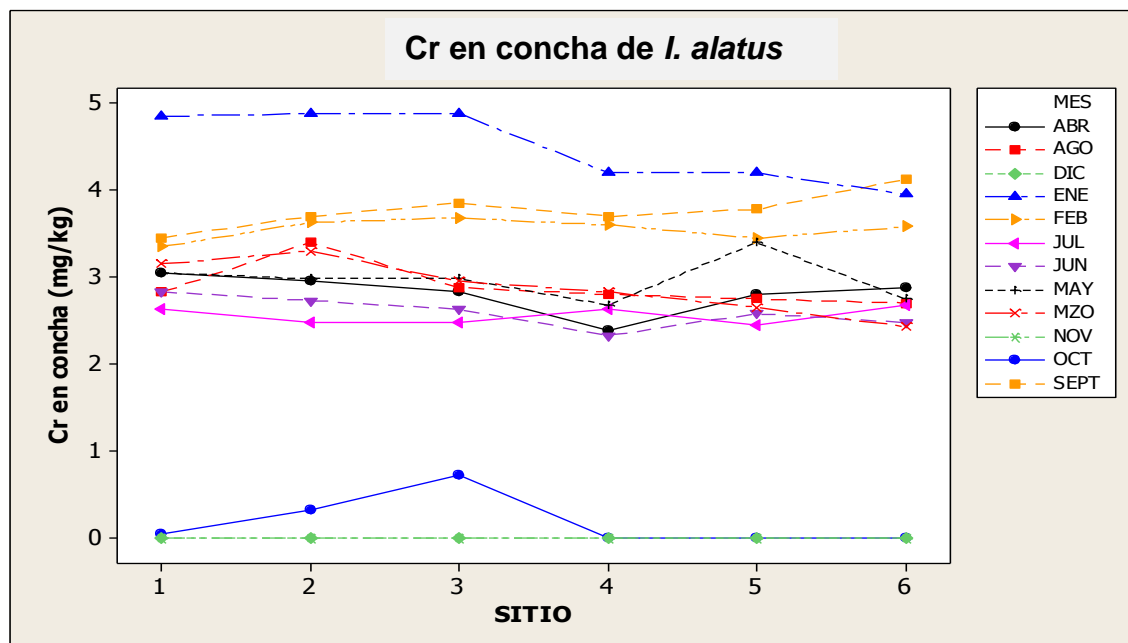


Figura 19. Concentración de Cr en concha de *I. alatus* (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

### 6.3.3 Cobre

#### 6.3.3.1 Concentración de Cu en cuerpo blando

El valor máximo de Cu en cuerpo blando de *I. alatus* se encontró en el sitio 5 “Punta rica” el mes de diciembre con 20.68 mg/kg; el menor valor encontrado fue en el sitio 1 “Tochón” el mes de febrero con 2.75 mg/kg. El mes de agosto sólo se detectó la presencia de Cu en el sitio 1 “Tochón” con 7.15 mg/kg. (Fig. 20). Se hizo una prueba Kruskal-Wallis; con un valor de  $p > 0.05$  no existen diferencias entre los sitios. Se usó la misma prueba para determinar diferencias temporales ( $p > 0.05$ ); la concentración de Cu en cuerpo blando no es diferente entre estaciones climáticas.

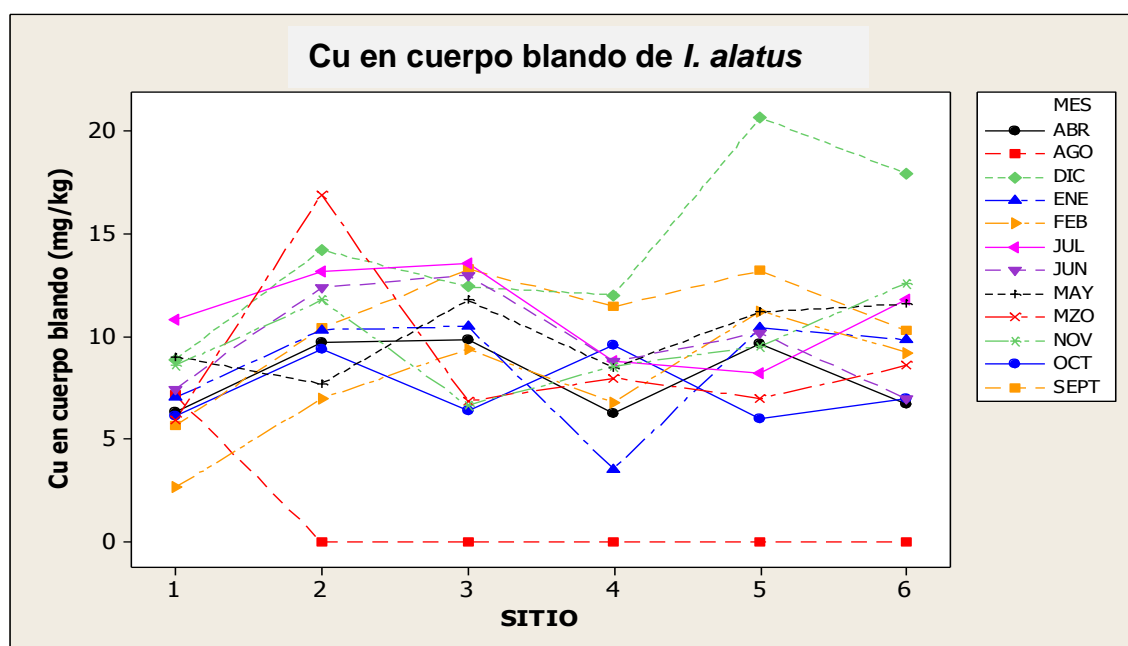


Figura 20. Concentración de Cu en cuerpo blando de *I. alatus* (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

### 6.3.3.2 Concentración de Cu en concha

La mayor concentración de Cu en concha de *I. alatus* se presentó en el sitio 2 “Isleta del caballo” el mes de marzo con 25.95 mg/kg; el menor en el sitio 4 “Restinga grande” el mes de diciembre con 1.35 mg/kg. Para el mes de agosto no se detectó la presencia de Cu en concha (Fig. 21). Se hizo una prueba Kruskal-Wallis; con un valor de  $p > 0.05$  no existen diferencias entre los sitios. Se usó la misma prueba para determinar diferencias temporales ( $p > 0.05$ ); la concentración de Cu en concha no es diferente entre estaciones climáticas.

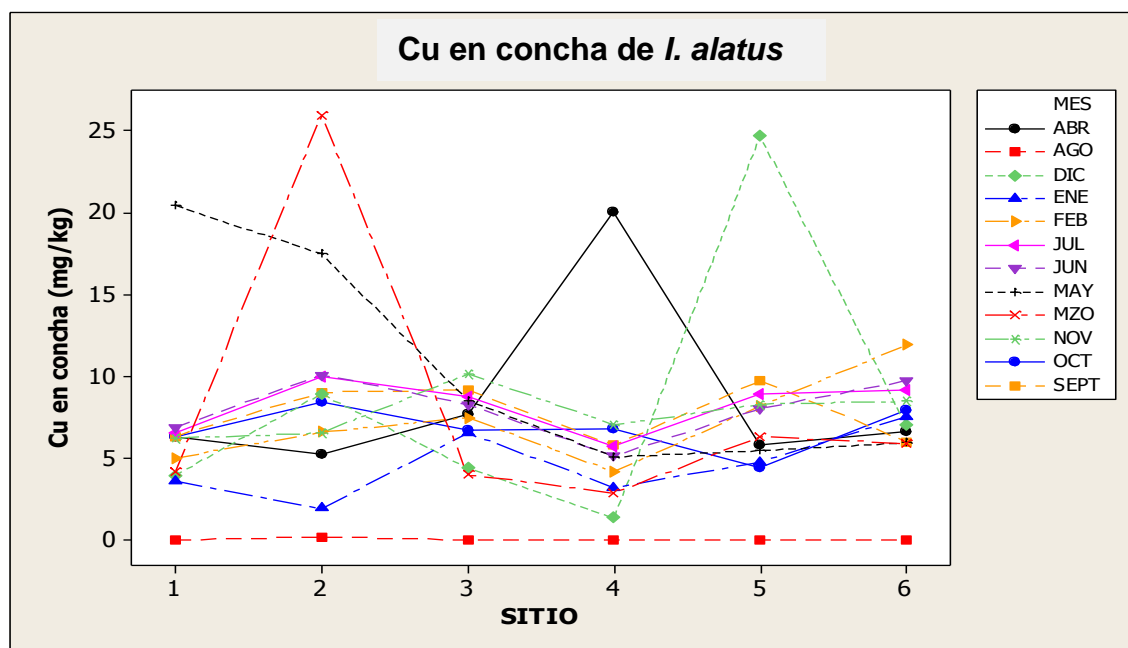


Figura 21. Concentración de Cu en concha de *I. alatus* (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

#### 6.3.4 Plomo.

##### 6.3.4.1 Concentración de Pb en cuerpo blando

No se registró la presencia de Pb en el cuerpo blando de *I. alatus*.

##### 6.3.4.2 Concentración de Pb en concha

No se observan tendencias de presencia de Pb en concha de manera espacial, si se observan diferencias temporales. La mayor concentración se presentó en el sitio 6 “La Mata” el mes de septiembre con 63.80 mg/kg; la menor en el sitio 1 “Tochón” el mes de febrero con 4.83 mg/kg. Los meses de octubre, noviembre diciembre no se detectó presencia de Pb en concha de *I. alatus* (Fig. 22). Los valores más altos de concentración de Pb en concha se presentaron los meses correspondientes a la temporada de lluvias (junio, julio, agosto y septiembre). Se hizo una prueba Kruskal-Wallis; con un valor de  $p > 0.05$  no existen diferencias entre los sitios. Se usó la misma prueba para determinar diferencias temporales ( $p < 0.05$ ); la concentración de Pb en concha es diferente entre estaciones climáticas.



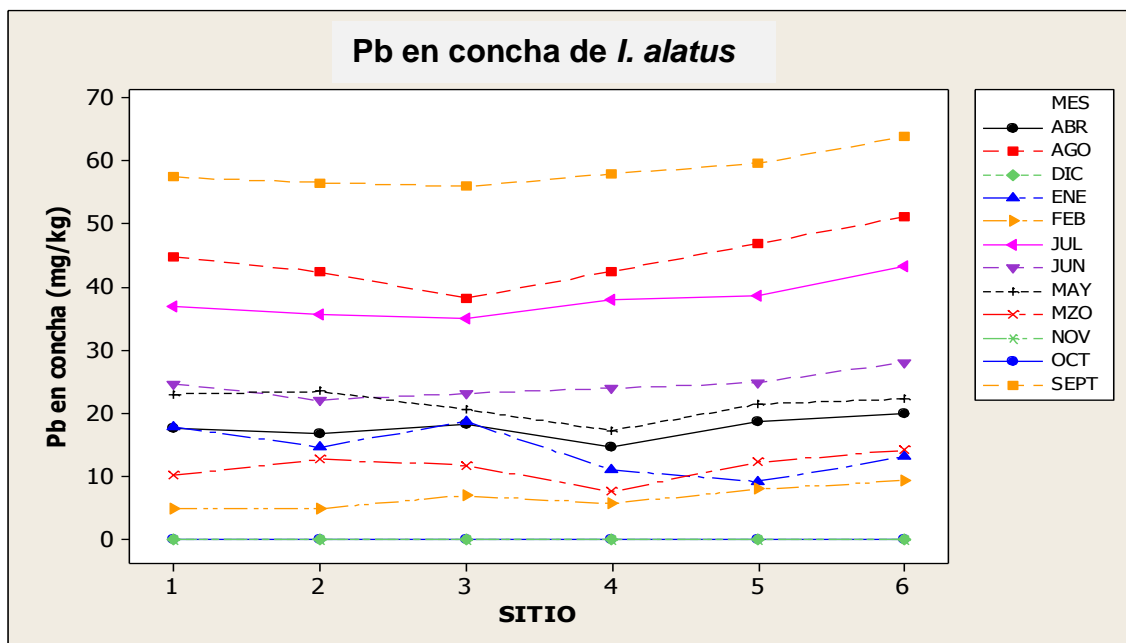


Figura 22. Concentración de Pb en Concha de *I. alatus* (mg/kg) por sitio de la laguna Tampamachoco, Veracruz.

## 6.4 Correlaciones

### 6.4.1 Concentración de metales/variables fisicoquímicas

Se hizo el análisis estadístico de correlación entre la concentración de metales y las variables fisicoquímicas. Se obtuvieron los valores de  $p$ ; se localizaron las correlaciones donde  $p < 0.05$  que es donde existe correlación; se obtuvo el valor de rho que indica la intensidad (débil, fuerte y moderada) y el tipo de correlación (positiva o negativa).

#### 6.4.1.1 Por sitio de muestreo

El cuadro 1 muestra las correlaciones entre la concentración de metal en cada tejido con las variables fisicoquímicas que se presentaron en cada sitio de muestreo. Se encontró correlación moderada positiva en todos los sitios entre la concentración de Pb en concha y la concentración de oxígeno disuelto, las otras correlaciones encontradas ( $p < 0.05$ ) son débiles.

Cuadro 1. Correlaciones metal/variable fisicoquímica/sitio.

Metales→variables fisicoquímicas→sitios Para $p < 0.05$					
Metal/ tejido	Salinidad	pH	Temperatura	Oxígeno disuelto	Sitios
Cd CB	-0.48				1-6
Cd S	-0.39				2-6
Cr S	+0.24	-0.24	-0.25		2-6
Cu CB		+0.28			2-6
Cu S			+0.32		2-6
Pb S			+0.42	+0.52	2-6

#### 6.4.1.2 Por temporada de muestreo

El cuadro 2 muestra las correlaciones entre la concentración de metal en cada tejido con las variables fisicoquímicas que se presentaron en cada temporada de muestreo.

Se encontraron relaciones moderadas a moderadamente fuertes entre las variables bajo estudio; La correlación más fuerte en cada temporada es: entre el Cr en concha con el pH en temporada de Nortes (correlación negativa), del Cr en concha con la temperatura en temporada de Estiaje (correlación positiva) y el Cd en concha con la salinidad en temporada de Lluvias (correlación negativa).

Cuadro 2. Correlaciones metal/variable fisicoquímica/temporada.

Metales/variables fisicoquímicas Para p 0.05					
Metal/ tejido	Salinidad	pH	Temperatura	Oxígeno disuelto	Temporada
Cr S	-0.43		+0.78	+0.4	Estiaje
Cu CB			-0.55		
Pb S			+0.55		
Cd S	-0.62				Lluvias
Cu CB			-0.45		
Cu S		+0.43	-0.59		
Pb S	-0.58				
Cd CB	-0.63			-0.49	Nortes
Cd S	+0.53		-0.70	+0.55	
Cr S		-0.85	-0.50	+0.48	
Cu CB	+0.42	+0.43			
Cu S		+0.46			
Pb S	+0.44	-0.73	-0.75	+0.73	

#### 6.4.2 Concentración de metales → talla/peso *I. alatus*.

Se hizo el análisis estadístico de correlación entre la concentración de metales y la talla/peso de *I. alatus*. Se obtuvieron los valores de  $p$ ; se localizaron las correlaciones donde  $p < 0.05$  que es donde existe correlación; se obtuvo el valor de rho que indica la intensidad (débil, fuerte y moderada) y el tipo de correlación (positiva o negativa).

##### 6.4.2.1 Por sitio de muestreo

El cuadro 3 muestra las correlaciones entre la concentración de metal en cada tejido con las variables fisicoquímicas que se presentaron en cada temporada de muestreo. Se encontraron correlaciones moderadas entre la concentración de metales y la talla/peso de *I. alatus*. Se observa que la correlación entre Cd en cuerpo blando y el peso en fresco se presenta en todos los sitios de muestreo. La correlación entre la concentración de Cd en cuerpo blando y el peso fresco de es poco más que moderada y positiva.

Cuadro 3. Correlaciones metal/biometría/sitios.

Metales/biometría/sitios Para $p < 0.05$					
Muestra	Longitud	Altura	Peso CB	Peso fresco	Sitios
Cd CB			-0.57	+0.63	1
Cr S			+0.55		
Cd CB	+0.37	+0.42	-0.50	+0.56	2-3
Cr S			+0.41		
Pb S			+0.32		
Cd CB	+0.37	+0.42	-0.50	+0.56	4-5
Cr S			+0.41		

Cd CB	+0.37		+0.56	6
Cr S		+0.41		
Pb S		+0.32		

#### 6.4.2.2 Por temporada de muestreo

El cuadro 4 muestra las correlaciones entre la concentración de metal en cada tejido con los variables fisicoquímicos que se presentaron en cada temporada de muestreo.

Se encontraron correlaciones moderadas. En la temporada de estiaje se encontró una correlación positiva moderada entre la concentración de Cd en cuerpo blando con la altura de la concha; en la temporada de Nortes hubo una correlación más que moderada positiva entre la concentración de Pb en concha con el peso del cuerpo blando; para la temporada de lluvias la correlación más alta es entre la concentración de Cd en cuerpo blando con la longitud de la concha.

Cuadro 4 Correlaciones metal/biometría/temporada.

Metales/biometría/temporada Para $p < 0.05$					
Muestra	Longitud	Altura	Peso CB	Peso fresco	Sitios
Cd CB		+0.50		+0.41	Estiaje
Cr S	+0.46		+0.59	+0.63	Nortes
Pb S			+0.62		
Cd CB	+0.67	+0.62		+0.66	Lluvias
Cd S	-0.49				

### 6.4.3 Variables fisicoquímicas → talla/peso

Se hizo el análisis estadístico de correlación entre las variables fisicoquímicas con la talla/peso de *I. alatus*. Se obtuvieron los valores de  $p$ ; se localizaron las correlaciones donde  $p < 0.05$  que es donde existe correlación; se obtuvo el valor de  $\rho$  que indica la intensidad (débil, fuerte y moderada) y el tipo de correlación (positiva o negativa).

#### 6.4.3.1 Por sitio de muestreo

La salinidad en todos los sitios de muestreo está de moderada a fuertemente correlacionada de manera positiva con el peso del cuerpo blando de *I. alatus*; la relación de la salinidad con la altura y el peso fresco es débil. No existe correlación significativa con otras variables fisicoquímicas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Correlaciones variable fisicoquímica/biometría/sitio.

Variable fisicoquímica/talla-peso/sitios					
Para $p < 0.05$					
	Longitud	Altura	Peso CB	Peso fresco	Sitios
Salinidad			+0.91		1
Salinidad		-0.23	+0.62	-0.26	2-6

### 6.4.3.2 Por temporada de muestreo

El cuadro 6 muestra las correlaciones entre la talla/peso de *I. alatus* con las variables fisicoquímicas que se presentaron en cada temporada de muestreo.

Se observan correlaciones moderadas, las mayores correlaciones son en temporada de estiaje entre la temperatura y la altura de la concha con una correlación positiva; en temporada de nortes una correlación negativa entre la temperatura y el peso del cuerpo blando y en temporada de lluvias entre la temperatura y la altura con correlación positiva.

Cuadro 6. Correlaciones variable fisicoquímica/talla-peso/temporada

Variable fisicoquímica/biometría/temporada					
Para $p < 0.05$					
	Longitud	Altura	Peso CB	Peso fresco	Temporada
Oxígeno	-0.57				Estiaje
Temperatura	+0.66				
pH			-0.41		Nortes
Oxígeno			+0.49		
Temperatura			-0.60		
Oxígeno				-0.40	Lluvias
Temperatura		+0.53			

## 7 DISCUSIÓN

### Variables fisicoquímicas en la laguna Tampamachoco

El comportamiento de los factores fisicoquímicos (temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto) de la laguna Tampamachoco durante el año de muestreo, no mostró diferencias espaciales significativas; aunque si se observa una tendencia en algunas variables.

La salinidad disminuye en dirección sur-norte; el sitio que presentó los valores más altos de salinidad todo el año fue el sitio 6 “La Mata”; las menores se presentaron en el sitio 1 “El Tochón”, Este comportamiento coincide con la regionalización reportada por De la lanza-Espino (1998) en donde la región 1 (La Mata) presenta mayores salinidades debido al efecto de las mareas y la región 4 (El Tochón) la zona de las lagunetas que colindan con ranchos al norte de la laguna; por los cuales hay escurrimientos temporales de agua de lluvia; lo anterior puede influir en las bajas salinidades del sitio 1.

Las salinidad presentó diferencias significativas durante el periodo de muestreo; la temporada de estiaje es diferente a las temporadas de lluvias y nortes; posiblemente se debe a los procesos de evaporación y precipitación, durante la época de secas, hay menor aporte fluvial y una marcada influencia marina alcanzando valores de salinidad más altos en la temporada de estiaje (López-Ortega, 2012).

Ocaña y-Sánchez (2003) reportaron que la temperatura superficial del agua entre 1987 y 1988 fue menor en temporada de nortes y mayor en temporada de



lluvias, López-Ortega (2012) encontró el mismo comportamiento en 2009-2010. En el presente estudio que se realizó entre 2012 y 2013 la temperatura superficial del agua en la temporada de lluvias fue mayor que en las temporadas de estiaje y nortes; se observa que el comportamiento estacional de la temperatura superficial del agua en la laguna de Tampamachoco a lo largo del tiempo fue constante entre 2009 y 2013. Posiblemente se debe a la frecuencia también estacional de los factores que intervienen en la temporalización nortes/lluvias/ secas determinada por De la Lanza Espino *et al.* (1998), dichos factores son las lluvias que tienen diferente origen de acuerdo a la época: en invierno de las masas de aire polar modificadas con 92 mm; en secas, son de origen conectivo con 200 mm, y en verano provienen de los vientos alisios con 1700 mm.

Los valores de pH tomados durante los 12 meses de muestreo no muestran una tendencia de comportamiento espacial o temporal. El valor mínimo se presentó en el mes de agosto en el sitio 2 “Isleta del Caballo” (7.35); el valor máximo el mes de marzo en el sitio 1 “El Tochón” (9.21); éstos valores son mayores (más alcalinos) que el máximo (6.3) y el mínimo (8.1), reportados por López-Ortega (2012). El valor máximo de pH obtenido en el presente estudio se encuentra por encima de los valores que según De la Lanza-Espino *et al.*, (1998) tiene la laguna que son fluctuaciones entre los 7 y 8.2 unidades en pH. López-Ortega (2012) reporta los valores más altos de pH en la temporada invernal; en este estudio los valores más altos se registraron en marzo (estiaje) en los sitios 1 y 2 que corresponden a los sitios con menor hidrodinámica.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua de la laguna Tampamachoco fue menor en la temporada de lluvias y mayor en la época de estiaje, resultados que corresponden con lo reportado por Mendoza-Díaz (2010) en la misma laguna. El valor máximo de oxígeno disuelto en la laguna en 2009-2010 (Mendoza-Díaz, 2010) Fue de 5.33 mg/L y el mínimo de 4.37 mg/L. En el presente estudio los valores son mucho más extremos que los reportados en el muestreo realizado dos años antes. El valor mínimo de (2.75 mg/L) se presentó en el mes de agosto de 2013 en el sitio 2 que no tiene aportes fluviales importantes que pudieran oxigenarla. El valor máximo se presentó el mes de enero (6.98 mg/L) que todavía es temporada de Nortes y que por la intensidad del viento y el aporte de agua pudieron movilizar y oxigenar el agua de toda la laguna.

### *Isognomon alatus*

La especie de interés ha sido sujeto de estudios principalmente poblacionales y ecológicos en el Golfo de México (Chávez-Ortiz, 2002, y Domaneschi y Martins, 2002), revisiones sistemáticas (Coan, 2000 y García-Cubas y Reguero, 2004). García Pacheco (2004) hizo un estudio sobre el ciclo gonádico de la especie en la laguna la Mancha Veracruz, aparte de este estudio no se han realizado otros estudios sobre la biología de la especie.

García-Pacheco (2004) observó el ciclo gonádico de *I. alatus* en la laguna de la Mancha; encontró una relación inversa entre el desove y temperatura/salinidad, con el pico de desove los meses de diciembre a febrero; también observó que la gametogénesis ocurre frecuentemente en marzo. Se encontró también que en promedio los organismos de esta especie crecen en longitud (eje antero-posterior) 4.6 cm al año, con incrementos mensuales desde 1.1 mm hasta 8.4mm.

En el presente estudio se tomó la altura, longitud, peso fresco (concha y cuerpo blando) y peso del cuerpo blando en fresco. A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la talla de los organismos de los diferentes sitios de muestreo; se observó que los organismos tienden a disminuir en altura en dirección norte-sur, siendo los más pequeños en altura y longitud los del sitio 6 "La Mata" los organismos de los sitios del centro de la laguna (2-5) presentaron tallas similares; mientras que los del sitio 1 tuvieron una talla intermedia entre los del sitio 6 y los de los sitios 2-5. Es posible que el tamaño de

la concha de *I. alatus* esté relacionado con la hidrodinámica del sitio, en el sitio 6 hay mayor influencia de las mareas, más fuerza en las corrientes y el intercambio de agua; lo que puede influir en el menor tamaño de la concha. Las diferencias espaciales en el tamaño de la concha relacionadas con la dinámica del sitio coinciden con lo reportado por Hauser *et al.*, (2008) quien relaciona la forma y preservación de la concha con factores como la agitación del agua, y la tasa de sedimentación de sólidos disueltos.

Skolowski (2008) señala que las condiciones ambientales hipóxicas o anóxicas inducen en *Macoma baltica* el incremento en el bombeo de agua; el incremento en el bombeo puede modificar la morfología de la concha; principalmente en el eje antero posterior, haciendo que la longitud de la concha incremente. Según Yonge (1978) este alargamiento inducido en condiciones anóxicas también se presenta en *I. alatus*; a pesar de que no se encontraron diferencias significativas entre la concentración de oxígeno disuelto, en los sitios y temporadas y tampoco en el tamaño de la concha, la correlación estadística entre estas variables indica que hay una relación moderada negativa entre ellas. En la laguna Tampamachoco se encontró que de manera moderada a medida que disminuye la concentración de oxígeno disuelto aumenta la longitud de la concha de *I. alatus*.

El tamaño de la concha también estuvo moderadamente relacionado de manera positiva con la temperatura; las conchas de los organismos recolectados en la temporada de estiaje son de menor tamaño y los recolectados en temporada de

nortes son de mayor tamaño. La temperatura en estas temporadas no tiene variaciones significativas. El tamaño de la concha de *I. alatus* no está directamente relacionado con la temperatura superficial del agua. Sin embargo, la temperatura superficial del agua sí estuvo fuertemente relacionada con la concentración de oxígeno disuelto durante el periodo de muestreo.

No se encontraron estudios que relacionen el peso total del organismo o del cuerpo blando con las variables ambientales o que puedan estar relacionados con la talla. En este estudio se encontró que el peso del cuerpo blando en fresco es levemente mayor en temporada de estiaje, en esta temporada también se registraron los valores de salinidad; si bien no se encontró correlación significativa entre la salinidad y el peso del Cuerpo blando por temporada, si se encontró que esta relación es fuerte y positiva entre los sitios.

A pesar de que no se encontraron correlaciones significativas entre la salinidad y el peso del cuerpo blando entre temporadas; se observa que en la temporada de estiaje se presentaron los valores más altos de temperatura y salinidad, y según con lo encontrado por García-Pacheco (2004) estas condiciones están inversamente relacionadas con el desove, lo que podría implicar un mayor peso en el cuerpo blando del organismo, (que no se refleja en la concha); es probable que el ligero mayor peso en el cuerpo blando de los organismos recolectados en la temporada de estiaje esté relacionado con el proceso de gametogénesis y las bajas tasas de desove.

## Metales en cuerpo blando

Los niveles de Cadmio encontrados en el cuerpo blando de *I. alatus* (6.75 mg/kg) se encuentran por encima de lo reportado por López-Jiménez (2012) en branquia de *Mugil curema* (3.12 mg/kg) y por Mendoza Díaz en *Farfantepanaeus aztecus* (1.55 mg/kg); todos organismos recolectados en la laguna Tampamachoco pero que representan distintos niveles tróficos, y tipos de alimentación. Los altos niveles de Cd en *I. alatus* pueden deberse a que es una especie filtradora, bentónica.

En *Crassostrea virginica* los niveles de Cd en otras lagunas del golfo de México se han reportado de hasta 21.41 mg/kg, diferencias relacionadas a los tipos y cantidades de vertidos contaminantes y afluentes a cada laguna.

Vázquez-Botello, *et al.*, 2004 señalan que las altas concentraciones de Cd están directamente relacionados con los desechos industriales, descargas urbanas, las características sedimentológicas y el contenido de materia orgánica del sedimento que forma complejos orgánicos con el Cd. Los valores de Cd en el cuerpo blando de *I. alatus* de la laguna Tampamachoco superan el Límite Máximo Permisible por la NOM-ECOL-1993 de 0.5 mg/kg en moluscos. Los sitios con las mayores concentraciones cada mes fueron el 2 y el 4.

Es posible que las altas concentraciones en el sitio 2 “Pipiloya sur” estén relacionadas con las características sedimentológicas del sitio, pues no tiene aportes directos de agua que puedan movilizar los sedimentos. El sitio 4 (Restinga grande) que se encuentra entre las torres de la Central Termoeléctrica “Adolfo López Mateos” también presenta un pico de concentraciones de Cd elevadas que probablemente estén asociadas a las incineraciones en la CTPALM o por la misma presencia de las estructuras de las torres (ATSDR, 1999).

La correlación indica que la concentración de Cd en cuerpo blando y la salinidad está relacionada de manera negativa. El sitio 6 “La Mata” presentó las concentraciones de Cd más bajas y las salinidades más altas durante el periodo de muestreo. Las altas salinidades en el sitio 6 están relacionadas con la dinámica de las corrientes y mareas que tienen mayor influencia en el sitio, además de los afluentes directos del río que arrastra los vertidos de la ciudad de Tuxpan. También se observa la correlación negativa moderada entre la concentración de Cd y la temporada de Nortes y Lluvias.

La relación entre la concentración de Cd en cuerpo blando y el peso del cuerpo blando es moderada de manera negativa en los sitios 1-5. Es probable que esta relación no se encontrara en el sitio 6 debido a que los organismos están sometidos a fuertes corrientes que afectan el tamaño de su concha (Coan, 2000), la sedimentación y presencia de partículas en disolución y que a su vez se reflejan en las menores concentraciones de Cd en cuerpo blando.

De Lacerda *et al.*, (1983) encontraron que la concentración de Cd aumenta con el tamaño de *Mytella guyanensis*, no se encontró relación entre el tamaño de la concha y la concentración de Cd. Sin embargo, se encontró una relación negativa entre Cd en cuerpo blando y peso del cuerpo blando (a mayor peso, menor concentración de Cd) resultado que contrasta con lo reportado por De Lacerda y colaboradores. Este contraste puede deberse a que los diferentes grupos taxonómicos tienen diferentes características de acumulación (Peake *et al.*, 2010).

La relación negativa entre el peso y la concentración de Cd puede estar relacionada con los procesos metabólicos de detoxificación-eliminación del metal como lo señala Ju *et al.*, (2011), que encontraron que los bivalvos acumulan en menor cantidad el Cd.



Los niveles de Cr encontrados en el cuerpo blando de *I. alatus* se encuentran por debajo de lo reportado por López-Ortega (2012) en branquias de *Eugerres plumieri* (6.32 mg/kg), López-Jiménez (2012) en hígado de *Mugil curema* (1.75 mg/kg) y por Mendoza-Díaz (2010) en *Farfantepanaeus aztecus* (2.32 mg/kg). Los organismos hasta ahora estudiados en cuanto a concentración de metales en la laguna Tampamachoco representan diferentes grupos taxonómicos y diferentes niveles tróficos, si bien la concentración de Cr entre los distintos organismos no es comparable, si nos da una idea de lo que puede ocurrir en el ambiente, considerando que *E. plumieri* y *M. curema* son especies dinámicas con dietas variadas podemos hablar de biomagnificación, mientras que *F. aztecus*, *C. virginica* e *I. alatus* al ser organismos filtradores podemos hablar de bioacumulación. El Cr encontrado en organismos de la laguna Tampamachoco se encuentra por debajo de los Límites permisibles por La Food and Drugs Administration (FDA, 2003), que es de 13 mg/kg para Cr.

En *Crassostrea virginica* González-Fierro *et al.*, (1994) reportan los niveles de Cr en otras lagunas del golfo de México se han reportado de hasta 6.23 mg/kg, diferencias relacionadas a los tipos y cantidades de vertidos contaminantes y afluentes a cada laguna. En *Isognomon alatus* la máxima concentración de Cr encontrada fue de 1.78 mg/kg. La diferencia en las concentraciones de Cr en distintas lagunas puede deberse a a los tipos de vertidos y afluentes, pues *C. virginica* e *I. alatus* son organismos bivalvos, sedentarios y filtradores que se encuentran en el mismo hábitat.

La existencia de Cr en lagunas del Golfo de México se debe de manera importante a las descargas de industrias aledañas a estos sitios, principalmente aquellas relacionadas con la tenería y los fertilizantes (Vázquez-Botello, *et al.*, 2004) Los máximos valor de Cr se encontraron en los dos primeros sitios, que están más cercanos a ranchos y es probable que sus descargas hacia la laguna contengan cromatos.

La mayoría de los datos de Cr en cuerpo blando se reflejan como “cero”, lo cual no significa que en las muestras no existe el metal, es probable que los niveles de Cr estén por debajo de los límites de detección del equipo, debido a que la base de datos está conformada principalmente de “0” no fue conveniente realizar los análisis de correlación con variables fisicoquímicas y con talla / peso de *I. alatus*.

## Cobre

Los niveles de cobre encontrados en el cuerpo blando de *I. alatus* (20.68 mg/kg) se encuentran por encima de lo reportado por Mendoza Díaz (2010) en *Farfantepanaeus aztecus* (18.62 mg/kg) pero es menor a lo que López-Jiménez (2012) encontró en branquia de *Mugil curema* (56.39 mg/kg), y por López-Ortega (2012) en hígado de *Eugerres plumieri* (29.17 mg/kg). En *Crassostrea rhizophorae* de la laguna Sontecomapan González-Fierro *et al.*, (1994) reportan 25.72 mg/kg de Cu. *E. plumieri* y *M. curema* son especies dinámicas con dietas variadas, por lo los altos niveles de concentración pueden ser resultado de la biomagnificación. *I. Alatus* y *C. rhizophorae* son especies sésiles filtradoras, por

lo que sólo son capaces de bioacumular los contaminantes a los que el ambiente se ve sometido temporal y espacialmente. Si bien la concentración de Cu entre los distintos organismos no es comparable, si nos da una idea de lo que puede ocurrir en el ambiente, considerando que *E. plumieri* y *M. curema* son especies dinámicas con dietas variadas podemos hablar de biomagnificación, mientras que *F. aztecus*, *C. virginica* e *I. alatus* al ser organismos filtradores podemos hablar de bioacumulación.

El cobre es un metal que en bajas concentraciones en la dieta es un elemento esencial para todos los organismos. Puede entrar al medio ambiente desde basurales, del agua residual doméstica, de la combustión de desperdicios y combustibles fósiles, de la producción de madera, de la producción de abonos de fosfato y de fuentes naturales(ATSDR, 2004).

El cobre es un metal común en tuberías y común en los gases atmosféricos que acarrearán productos de la combustión, por lo que se explica su presencia en el cuerpo blando de *I. alatus* en todos los sitios de la laguna Tampamachoco en todas las temporadas de muestreo. Se encontraron correlaciones moderadas positivas con la temperatura en las temporadas de estiaje y lluvias; el fenómeno de evaporación puede influir en que mientras sea mayor la temperatura hay mayor concentración de Cu en la temporada de estiaje. En la temporada de lluvias puede influir el mayor aporte de agua de desecho desde las zonas aledañas a la laguna.

Aragón-López *et al.*, (2009) reportó que los niveles de Pb en *Crassostrea virginica* de Alvarado y La Mancha están por encima de las concentraciones permitidas por la NOM-031-SSA-1994; situación contrastante con lo reportado por González-Fierro *et al.*, (1994) que encontraron la concentración de Pb en bajos niveles en *Crassostrea rhizophorae* de la laguna Sontecomapan. El resultado obtenido en el presente estudio coincide con lo reportado por éste último autor. En las muestras de cuerpo blando de *I. alatus* la presencia de Pb se encuentran por debajo de los límites de detección del equipo. No se pudieron hacer correlaciones con variables fisicoquímicas y talla/peso.

## Metales en concha

Diversos autores (Rosas *et al.*, 1983; Atwood *et al.*, 1987; Botello y Calva, 1998 y Botello *et al.*, 2005) señalan que el sistema lagunar Pueblo Viejo-Tamiahua-Tampamachoco ha sido fuertemente contaminado con desechos petroleros, mineros y domésticos de ciudades cercanas; al igual que otras lagunas del Golfo de México presenta contaminación por metales pesados en agua y sedimentos, la concentración varía dependiendo del afluente, actividades antropogénicas y características sedimentológicas en cada laguna.

En la laguna de Tampamachoco López-Ortega (2012) y López Jiménez (2012) determinaron la concentración de metales en agua y sedimento respectivamente. Debido a los procesos de sedimentación se encontraron mayores concentraciones en el sedimento (Cd: N/D, Cr: 4.32 mg/kg, Cu: 7.6 mg/kg, Pb: 13.20 mg/kg) que en el agua (Cd: N/D, Cr: 0.101 mg/kg, Cu: 0.31 mg/kg, Pb: N/D).

Los valores de Cu y Pb encontrados en concha son muy superiores a los que encontró López-Jiménez, 2012) en sedimento. De Donno (2008) concluye que los organismos sésiles bentónicos como los bivalvos son capaces de integrar las fluctuaciones de concentración de contaminantes presentes en agua y sedimentos circundantes; particularmente los moluscos bivalvos que pueden integrar en su concha la presencia de los contaminantes debido a que las capas de la concha se forman por la acumulación de sales calcáreas suministradas por

el epitelio del manto; que junto con las branquias incorporan sustancias inorgánicas que toman del agua circundante.

Las diferencias entre las concentraciones de metales en sedimento y concha de *I. alatus* pueden deberse a que las corrientes, mareas y la actividad ostionera pueden movilizar los sedimentos distribuyéndolos en áreas mayores, mientras que *I. alatus* al no ser especie de interés comercial (Chávez-Ortiz, 2002) es ignorada por los ostioneros y poco movilizada por las corrientes; lo que la hace más propensa a acumular los metales que están (o pasan) por el sitio en tiempos diferentes como lo señala de Donno (2008).

Se han hecho pocos estudios sobre acumulación de metales en concha de moluscos; De Lacerda *et al.*, (1983) midieron las concentraciones de Cu, Cr, Cd, y Pb en concha de *Mytella guyanensis* en la Bahía de Sepetiba, en Río de Janeiro, Brasil, encontrando valores máximos de concentración: Cd 2.79 mg/kg, Cr 6.81 mg/kg, Cu 6.61 mg/kg y Pb N/D. Wong-Argüelles (2007) evaluó si la concentración de metales en concha de moluscos dulceacuícolas se debe a factores de bioacumulación o dilución. No menciona las concentraciones de cada metal encontradas en los organismos bajo estudio; por otra parte Godínez-Campos (2012) determinó la presencia de metales en la concha de *Neritina reclivata* de la laguna de Tampamachoco, encontró valores máximos de Cd 0.77 mg/kg, Cr 1.0 mg/kg y Cu 9.17 mg/kg.

Las concentraciones encontradas en *I. alatus* en el presente estudio (máx: Cd 1.5 mg/kg, Cr 4.88 mg/kg, Cu 29.95 mg/kg y Pb 63.8 mg/kg) se encuentran dentro del rango reportado por De Lacerda *et al.*, (1983) para *M. guyanensis*; lo que puede deberse a la similitud en los hábitos de vida de la especie y al hábitat, las mayores concentraciones encontradas en *M. guyanensis* pueden ser efecto de la diferencia de condiciones ambientales y del tipo y cantidad de descargas en el ambiente, que según los autores es una zona industrial en desarrollo y por lo tanto aumentaron las descargas con contenido de metales.

En contraste, las concentraciones encontradas en *I. alatus* son mucho mayores que las encontradas en *N. reclivata*, ambas especies recolectadas en la misma laguna, la diferencia en las concentraciones probablemente se deba a la diferencia de hábitat, pues *N. reclivata* vive adherido a las ramas de los árboles de mangle, y no tiene contacto constante con el agua de la laguna; mientras que *I. alatus* vive adherido a otras concha, rocas o raíces de mangle, por lo que está en contacto directo con el agua y sedimento de la laguna todo su ciclo vital y por lo tanto es capaz de incorporar todo el tiempo durante su crecimiento la presencia de metales pesados.

Los valores de Cd en concha son menores a los encontrados en cuerpo blando; al igual que el Cd en cuerpo blando se encontraron las mayores concentraciones en los organismos recolectados en la temporada de Nortes. La concentración de Cd en concha es diferente entre estaciones climáticas; siendo la temporada de estiaje diferente a la de nortes y lluvias; en la temporada de lluvias se

encontraron correlaciones moderadas negativas entre la concentración de Cd en concha con la salinidad del agua de la laguna y con la longitud de la concha de *I. alatus*. En la temporada de lluvias hubo menor salinidad en la laguna y se recolectaron organismos con menor longitud. Resultados que contrastan por los reportados con De Lacerda *et al.*, (1983) que encontraron mayor concentración de Cd en organismos más grandes de *M. guyanensis*.

La concentración de Cr en concha presentó una concentración máxima de 4.88 mg/kg; a diferencia del Cd en los meses de nortes no se detectó la presencia de este metal, pero las concentraciones más altas se presentaron al inicio de la temporada de estiaje; debido a que no se detectó el metal en nortes, la prueba de Kruskal–Wallis señaló diferencias entre temporadas, siendo la temporada de Nortes la que presentó las menores concentraciones.

En la temporada de Nortes y Estiaje se encontró una correlación moderada positiva con la concentración de oxígeno disuelto; estas temporadas presentaron mayores concentraciones de OD que en la temporada de Nortes. En la mayoría de los sitios se encontró una correlación moderada positiva entre la concentración de Cr en concha con el peso del cuerpo blando y del peso fresco, indicando que de manera moderada mientras crece en peso el animal, aumenta la concentración de Cr. Estos resultados también contrastan por los reportados con De Lacerda *et al.*, (1983) que encontró menor concentración de Cr en organismos más grandes de *M. guyanensis*.



Las concentraciones de Cu en concha de *I. alatus* estuvieron entre 1.35 mg/kg y 25.95 mg/kg. No se encontraron diferencias significativas ni espacialmente ni temporalmente, tampoco se encontraron correlaciones con alguna variable fisicoquímica o con la talla/peso de los organismos; quizá se deba a que el Cu es un metal muy común en zonas aledañas a zonas urbanas (ATSDR, 2004).

No se detectó la presencia de Pb en concha de *M. guyanensis* ni en *N. reclinata*. En *I. alatus* el valor mínimo fue de 4.83mg/kg. Según de Donno (2008) los organismos de diferentes grupos taxonómicos a niveles de familia pueden presentar diferencias en la acumulación de metales, las diferencias con *N. reclinata* se deben a la diferencia en el hábitat.

Las altas concentraciones detectadas en varias lagunas costeras del Golfo de México se relacionan de manera directa con la descarga continua y a veces masiva de aguas residuales; así como de las emisiones atmosféricas provenientes de las áreas urbanas e industriales que se transportan a otras regiones del Golfo de México dependiendo del patrón de vientos (Vázquez-Botello, *et al.*, 2004, Valencia 1989: 41). En la concha de *I. alatus* de la laguna Tampamachoco se presentaron valores por encima de los reportados por López-Jiménez (2012) en sedimento. Se encontró una diferencia marcada en la concentración de Pb en concha entre las temporadas de muestreo, la concentración se encontró de la siguiente manera nortes < estiaje < lluvias.

La concentración de metales en concha no se comparó con algún tipo de normatividad mexicana o internacional; las legislaciones existentes proponen límites máximos permisibles en moluscos (NOM -031-SSA-1993), en cuerpos de agua (001-ECOL-1996), en aguas residuales (NOM-001-ECOL-1996) y en sedimento (Nauen, 1983), en México no hay normatividad que establezca niveles permisibles de metales en sedimentos (López-Jiménez, 2012).

No es conveniente usar estas normas debido a que la acumulación de metales en la concha de moluscos bentónicos está relacionado con el metabolismo del organismo; con la secreción de conquiolina (Reguero y García-Cubas, 2004), con la concentración de metales en agua y con la concentración de metales en sedimento; además de los factores ambientales que influyen en la biodisponibilidad de los metales (Brown y Depledge, 1998).

## 8 CONCLUSIONES

Los resultados de las correlaciones no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre concentración de metales y sitios; la correlación entre concentración de metales y temporada aportan poca información y la correlación entre variables es moderada. Es posible que los datos de variables y concentración de metales obtenidos durante el muestreo no fueran suficientes para aportar significancia estadística.

*I. alatus* es una especie abundante que se encuentra adherida a rocas, construcciones y sedimento duro a las orillas del río Tuxpan y de la laguna Tampamachoco; a pesar de que no es una especie de interés comercial es capaz de acumular en el cuerpo blando metales biodisponibles en el agua y dado que está en constante crecimiento los contaminantes también pueden acumularse en la concha: lo que nos puede permitir observar la presencia de metales en un periodo determinado. Así también observar el posible incremento de los metales en el ambiente.

Las altas concentraciones de Cd y Pb en *I. alatus* encontradas en este estudio pueden estar relacionados con el constante vertido de aguas residuales y los escurrimientos que arrastran sedimentos y materiales hacia la laguna. Considerando que en las zonas aledañas no hay planes de tratamiento de aguas y de residuos así como el incremento en la actividad urbana, industrial y portuaria.

Si bien *I. alatus* no es una especie de interés comercial, otras especies de hábitos similares pueden presentar contaminación por metales pesados.

La legislación mexicana no es suficiente para limitar los niveles permisibles de metales en sedimento de los ecosistemas costeros; menos aún para comparar una estructura propensa a acumular metales como es la concha de los moluscos.

Es necesario hacer muestreos más constantes y controlar algunas variables para poder tener la significancia estadística y poder usar la especie *Isognomon alatus* como monitor de la calidad del agua de la laguna Tampamachoco. Además de estudiar más a fondo la biología y fisiología del organismo.

## 9 APLICACIONES

Se recomienda el uso de la concha de moluscos bivalvos para evaluar la calidad del agua de cuerpos lagunares; en especial la concha de los organismos con crecimiento irregular como *I. alatus* debido a que son capaces de integrar en su concha los cambios en agua y sedimento.

La presencia de metales en concha nos hace notoria la necesidad de establecer una normatividad integral con respecto a los niveles permisibles de contaminantes en ecosistemas costeros; es necesario tomar en cuenta las capacidades acumulativas de los organismos, las propiedades químicas de los contaminantes y las variables ambientales. Para ello es necesario hacer más estudios en concha de moluscos que tomen en cuenta el metabolismo del organismo y la biodisponibilidad de los metales.

Los resultados obtenidos en el presente estudio se pueden sumar a los realizados años anteriores para evaluar y comparar los niveles de contaminación por metales en la laguna a través el tiempo en organismos de diferentes niveles tróficos.

Los altos niveles de Pb en concha nos indican que hay descargas de este metal provenientes de las zonas urbanas aledañas, es necesario regular las emisiones contaminantes.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

Airas, S., Duinker, A. y Julshamn, K. 2004. Cooper, Zinc, Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Blue Mussels (*Mytilus edulis*) in the Bergen Harbor Area, Western Norway. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 73:276-284.

Achterberg, E. P., Herlz V. M. C., Braungardt, C. B. y Millward, G. E. 2003. Metal behaviour in an estuary polluted by acid mine drainage; the role of particulate matter. Environmental Pollution, 121: 283-292.

Allen, H. y D. Hansen. 1996. The importance of trace metal speciation to water quality criteria. Water Environment Research. 68: 42-54.

Almeida, E. A., Bairy, A. C. D., Medeiros M. H. G y Mascio P. Di. 2003. Effects of trace metal and exposure to air on serotonin and dopamine levels in tissues of the mussel *Perna perna*. Marine Pollution Bulletin. 46:1485–1490.

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

Aragón-López, Lango-Reynoso y Castañeda-Chávez (2009). Concentración de metales pesados en Ostión (*Crassostrea virginica*) y sedimentos en dos sistemas lagunares del estado de Veracruz. 3-12 pp. *En: Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano*. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.

ATSDR. Agency for Toxic Substances y Disease Registry. 1999. Resumen de salud pública (Cadmio). [Actualizado 2007]. <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>

ATSDR. Agency for Toxic Substances y Disease Registry. 2005. Resumen de salud pública (Cromo). [Actualizado 2007]. <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>

ATSDR. Agency for Toxic Substances y Disease Registry. 2007. Resumen de salud pública (Cobre). [Actualizado 2007]. <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>

ATSDR. Agency for Toxic Substances y Disease Registry. 2007. Resumen de salud pública (Plomo). [Actualizado 2007]. <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>

Argota-Coello, H., Sánchez-González, M. y Argota-Pérez, G. 2005. Determinación de metales pesados en matrices biológicas. *Revista Cubana de Química*, Vol. 17 (1):14-14.

Atwood, D. K., Burton, F. J., Corredor, J. E., Harvey, G. R., Mata-Jiménez, A. J., Vásquez-Botello, A. y Wade, B. A.. 1987. Petroleum pollution in the Caribbean. *Oceanus*, 30(4):25-32.

Ávila-Pérez, P y Zarazúa-Ortega, G. 1993. Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea virginica* Gmelin), del canal el Chijol, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 9 (2): 53-64.

Bacqueiro-Cárdenas, E. R., Borabe, L., Goldaracena-Islas, C. G. y Rodríguez-Navarro, J. 2007. Los moluscos y la contaminación. Una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 1s-7s.

Basañez-Muñoz, A. 2005. Ficha informativa de los humedales Ramsar (FIR). Oficina de la convención de Ramsar, Gland, Suiza.

Boss, K. J. 1982. Mollusca. 945-1166 pp. En *Synopsis and Classification of Living Organisms*. vol. I. Parker, S. P. (ed). McGraw-Hill, New York.

Botello, A, Ponce-Velez, G, Villanueva-Fragoso, S y Rueda Quintana, L. 1994. Contaminación. En: *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. De la Lanza Espino G. y Cáceres Martínez C. (Editores). Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz Baja California Sur. 525 pp.

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

Botello, A., J. Rendón-Von Osten, G., Gold-Bouchot y Agraz-Hdez, C. 2005. Golfo de México: Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 695 p.

Brown, M. T. y Depledge, M. H. 1998. Determinants of trace metal concentrations in marine organisms. pp. 185-217. En *Metal metabolism in aquatic environments*. Langstone, W. J. y Bebianno, M. J. (eds). Chapman y Hall. London.

Brusca, R. y Brusca, G. 2003. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Massachusetts, 936 p.

Carpenter, K. E. (ed.). 2002. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume I: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists special Publication No. 5, Food and Agriculture Organization, Rome, pp: 1-600.

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

Cervantes, C., y Moreno R. 1999. Contaminación ambiental por metales pesados. Impacto en los seres vivos. AGT Editor, S. A. 39 pp.

Chávez Ortiz, E. A. 2002. *Isognomon alatus*. Análisis de la situación de algunas especies de invertebrados marinos de tres Phyla (Cnidaria, Mollusca, Echinodermata). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W006. México. D.F.



Coan, E. V., Scott P. V. y Bernard F. R. 2000. Bivalve seashells of Western North America. Santa Barbara Museum of Natural History Monographs. California. 764 pp.

COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2012 [23 de agosto]. (<http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/MoluscosBivalvos.aspx>).

Contreras, 1983. Variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpan, Tampamachoco, Veracruz, México. *Biótica*. 8 (2): 201-213.

De Donno, A., Liaci, D., Bagordo, F., Lugoli, F. y Gabutti G. 2008. *Mytilus galloprovincialis* as bioindicator of microbiological pollution of coastal waters: A study conducted in the Salento Peninsula (Italy). *Journal of Coastal Research*. 24 (spl): 216-221.

De Lacerda, L. D., Neuza, R. W., Lima, W. C., Pfeiffer, C. y Fiszman Marlene. 1983. Size and metal concentration in the mangrove mussel *Mytella guyanensis* (Mollusca: Bivalva) from Baía de Sepetiba, Brazil. *Revista de Biología Tropical*. 31 (2): 333-335.

De la Lanza-Espino, G. 1998. Aspectos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua. En: L. R. Martínez-Córdova (Editor), *Ecología de los Sistemas Acuícolas*. AGT. Editor. México. 1-26 pp .

Domaneschi, O. y Martins M., 2002. *Isognomon bicolor* (C. B. Adams) (Bivalvia, Isognomonidae): primeiro registro para o Brasil, redescricao da espécie e considerações sobre a ocorrência e distribuição de *Isognomon* na costa brasileira. *Revista Brasileira de Zoologia*. 19(2): 611-627.

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

Farías-Sánchez, J. A. 2006. Cultivo de Moluscos. Alfaomega Editorial. México. 288 pp.

Felder, D. L., Camp, D. F. y Tunnell J. W. 2009. An introduction to Gulf of Mexico biodiversity assessment. 1-12 pp. En Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota. Volume I, Biodiversity. Felder, D. L. y Camp, D. F. (eds). Texas A yM University Press, College Station, Texas.

Galtsoff, P. S. 1964. The American oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. US Department of the Interior Fishery Bulletin 64:1-480.

García-Cubas, A. y Reguero, M. 2004. Catálogo ilustrado de moluscos gasterópodos del Golfo de México y Mar Caribe. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial / Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, 168 p.

García-García, C. 2005. Metales tóxicos en el sistema lagunar Mandinga Veracruz. Reporte técnico. UAM. 33 p.

García-Pacheco, R. Evolución Gonádica a Nivel Histológico de la almeja *Isognomon alatus* (Gmelin, 1791) (Mollusca: Bivalvia) de la laguna La Mancha, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana, 2004. p.33.

Gold-Bouchot, G., Noreña-Barroso, E. y Zapata-Pérez, O. 1995. Hydrocarbon concentration in the American oyster *Crassostrea virginica*, in laguna de Términos, Campeche, México. Bulletin of Environmental. Contamination and Toxicology. 54: 222-227.

Godínez-Campos, O. 2012. Metales pesados en *Neritina reclinata* (Say, 1822) (Mollusca: Gastropoda) en La laguna de Tampamachoco, Veracruz". Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Veracruz. México.

González-Fierro, A., Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S. y Ponce,-Vélez, G.. (1994). Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. *Hidrobiológica*, marzo, 35-43.

Gundacker, C. 1994. Tissue-specific heavy metal (Cd, Pb,Cu, Zn) deposition in a natural population of the Zebra mussel *Dreissena polymorpha* Pallas. *Chemosphere*. 38:3339-3356.

Hauser, I., Oschmann, W. y Gischler, E. 2008. Taphonomic Signatures On Modern Caribbean Bivalve Shells As Indicators Of Environmental Conditions (Belize, Central America). *PALAIOS*. 23:586–600.

Hatje, V., Payne, T. E., Hill, D. M., McOrist, G., Birch, G. F. y Szymczak, R. 2003. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: effects of pH, salinity, and particle loading. *Environment International*, 29: 619-629.

INE (Instituto Nacional de Ecología). 2009. [17 de agosto]. Página electrónica (<http://www.ine.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales#1>)

Ju, Y. R., Chen, W. Y., Singh, S., y Liao, C. M. 2011. Trade-offs between elimination and detoxification in rainbow trout and common bivalve molluscs exposed to metal stressors. *Chemosphere*. 85(6):1048-56.

Lango-Reynoso, F., Landeros-Sánchez, C. y Castañeda-Chávez, M. R. 2010. Bioaccumulation of Cadmium (Cd), Lead (Pb) and Arsenic (As) in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), from Tamiahua Lagoon System, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 26(3):201-210.

Largerwerff, J. V., 1972. Metals and sediments. *En: morvedt, J. J. (ed.). Micronutrients in agriculture. Soil Science Society of America Journal. Madison, Wisconsin, 677 p.*

Loosanoff, V. L. 1962. Effects of turbidity on somelarval and adult bivalves. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 14:80-95.

Loosanoff, V. L. y F. D. Tommers. 1948. Effect of suspended silt and other substances on rate of feeding of oysters. *Science* 107:69-70.

López-Ortega. M. 2012. Determinación de algunos metales pesados en *Eugeres plumieri* (Cuvier, 1830) y agua de La Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopia de absorción atómica. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma Hidalgo.

López-Jiménez. M. A. 2012. Determinación de algunos metales pesados en *Mugil curema Valenciennes, 1836* y sedimentos de Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopía de absorción atómica. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma Hidalgo.

Luna, J. M., Rendón-von, J. O. y Alpuche, L. 2002. Presencia de plomo en agua y ostión en las lagunas de Alvarado y La Mancha. pp. 145-154. En: *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*. Instituto Nacional de la Pesca y Universidad Veracruzana. México.

Madrigal, A. L., Vázquez, G. J., Velasco, V. S. y Rodríguez, P. A. 2008. Determinación de Metales Pesados (Pb, Hg, Cd y As), en Agua de Mar y Ostión (*Crassostrea iridiscens*) en la Costa del Estado de Colima. *Revista de la Facultad de Salud Pública y Nutrición*. Nuevo León (8).

Mendoza-Díaz, F. 2010. Determinación de metales pesados: Cd, Cr, Cu, Pb en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados en la laguna de Tampamachoco, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Veracruz. México.

Moretzsohn, F., Tunnell, J. W. Jr., Lyons, W.G., Baqueiro, E., Barrera, N. Espinosa, J., Garcia, E. F., Ortea, J. y Reguero, M. 2009. Chapter 30 - Mollusca: Introduction. 559-564 pp. En *Gulf of Mexico Origin, Waters and Biota: Volume 1 Biodiversity*. Felder D.L. y Camp D.K. (eds). Texas A y M University Press, College Station, Texas.

Mubiana, V. K. y Blust, R. 2006. Metal content of Marine Mussels from Western Scheldt Estuary and Nearby Protected Marine Bay, The Netherlands: Impact of Past and Present Contamination. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 77:203-210.

Nauen, C. E. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Fisheries Circular No. 764, FIRI/C764, Roma, 42 p.

NOAA. 2004. National Status and Trends Program, MusselWatch. <http://vertigo.hsrl.rutgers.edu/NST.html>

NOM: NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM: NOM-031-SSA1-1993, Bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.

Ocaña, L. A. y Sánchez, R. M. 2003. Diversity of Ichthyoplankton in Tampamachoco lagoon, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoología* 74 (2): 179-193.

Páez-osuna, F., Izaguirre-Fierro, G., Godoy-Meza, R. I., González-Farías F. y Osuna-López, J. I. 1988. Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: Técnicas de extracción y niveles de concentración. *Contaminación Ambiental*. 4: 33-41.

Peake, B. M., Marsden, I. D., Ashoka, S. y Bremner, G. 2010. Interspecific and geographical variation in trace metal concentrations of New Zealand scallops. *Journal of shellfish research*. 29 (2): 387-394.

Phillips, D. J. H. 1990. Use of microalgae and invertebrates as monitors of metal levels in estuaries and coastal waters. En Heavy metals in the marine environment. Furness, F. W. y Rainbow, P. S. (eds). CRC Press. Florida.

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

Rainbow, P. S. y Phillips D. J. H. 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. Marine Pollution Bulletin 26: 593-601.

Reguero, M., García-Cubas, A. y Zúñiga, G. 1991. Moluscos de la laguna Tampamachoco, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 18 (2):289-328.

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

SEMARNAP-CNA-UNAM. 2000. Guía de organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). SEMARNAP-CNA-UNAM. México. 190 pp.

Skolowski, A. K., Pawlikowski, M., Wolowicz, M., García, P. y Namiesnik, J. 2008. Shell deformations in the Baltic Clam *Macoma Balthica* from southern Baltic Sea (The Gulf of Gdansk): Hypotheses on Environmental effects. AMBIO. A Journal of the Human Environment. 37 (2): 93-100.

Toledo-Ocampo, A. 2005. Marco Conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México. 25-52 pp. 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). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto Nacional de Ecología. México.

Turner, A., Le Roux, S. M. y Millward, G. E. 2004. Speciation and partitioning of cadmium and zinc in two contrasting estuaries: The role of hydrophobic organic matter. *Limnology and Oceanography*, 49: 11-19.

Valencia, J. J. L. 1989. Registro sedimentario de metales pesados en la laguna de las Ilusiones, Villahermosa. Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Básicas-Biología. Unidad Sierra, 100 pp.

Vázquez, G. F., Virender, K. S., Mendoza, Q. M. A. y Hernández R. 2001. Metals in fish and shrimp of the Campeche Sound, Gulf of México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 67: 756-762.

Vázquez-Botello, A. Villanueva-Fragoso S. y Rosales Hoz, L. 2004. Distribución y contaminación de metales pesados en el Golfo de México. *En: Caso, M, Pisanty I y Excurra E (compls)*. 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México

Vázquez-Sauceda, M., Aguirre Guzmán, G., Pérez-Castañeda, R., Rábago-Castro, J. y Genaro-Sánchez J. (2005). Contenido de cadmio y plomo en agua, ostión y sedimento de la laguna e San Andrés, Aldama, Tamaulipas. *Ciencia y Mar*. 9:(27):3-9 p.

Vázquez, F. G., Sharma, V. K., Mendoza, Q. A. y Hernández, R. (2001). Metals in fish and shrimp of the Campeche Sound, Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. (46): 774-781.

Wallace, W. G., López, G. R. (1997) Bioavailability of biologically sequestered cadmium and the implications of metal detoxification. *Marine Ecology*. 147:149–157.

Argüelles, C., Alfaro-de la Torre, M. C. y Naranjo-García E. 2007. Organismos acuáticos macrobentónicos como indicadores de la contaminación por metales pesados en ríos de la Huasteca Potosina. 115-117 pp. *En Estudios sobre Malacología y Conquiliología en México*. Ríos-Jara, E., Esqueda-González, M. C., y Galván-Villa, C. M., (eds). Universidad de Guadalajara, México.

Yambem Tenjing Singh, Machina Krishnamoorthy, Hemachandra, Seetharamaiah, Thippeswamy. 2013. Status of some heavy metals in tissues of wedge clam, *Donax scortum* (bivalvia: donacidae) collected from padukere beach, Karnataka , IJRRPAS, 2013, April, 3(2)254-267.

Yonge, C.M. 1968. Form and habit in species of *Malleus* including the hammer oyster with comparative observation on *Isognomon*. Biological Bulletin. 135.