



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
ZONA POZA RICA - TUXPAN

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

“Metales pesados en *Neritina reclinata* Say, 1822 (Mollusca: Gastropoda) en La laguna de Tampamachoco, Veracruz”.

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

P R E S E N T A:

OBED GODÍNEZ CAMPOS

Director:

DRA. MARISELA LÓPEZ ORTEGA



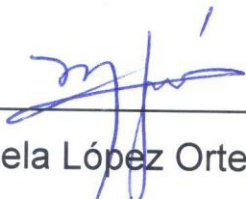
Universidad Veracruzana

Tuxpan, Veracruz.

Octubre de 2012

La presente Tesis titulada: **“Metales pesados en *Neritina reclinata* Say, 1822 (Mollusca: Gastropoda) en La laguna de Tampamachoco, Veracruz”**, realizada por el C. Biol. Obed Godínez Campos, bajo la dirección de la Dra. Marisela López Ortega, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS



Dra. Marisela López Ortega
Director

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, Octubre 2012

La presente Tesis titulada: **“Metales pesados en *Neritina reclivata* Say, 1822 (Mollusca: Gastropoda) en La laguna de Tampamachoco, Veracruz”**, realizada por el C. Biol. Obed Godínez Campos, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

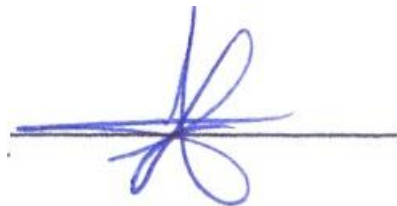
COMISIÓN LECTORA



Dra. Griselda Pulido Flores



Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera



Dra. María Alejandra López Jiménez

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, Octubre 2012

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Veracruzana y la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Tuxpan; por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Al CONACYT por las facilidades otorgadas para realizar este trabajo y la beca de posgrado Nacional No. 378571.

A la SEV y en especial al SITEV, por permitirme desarrollar y llevar a cabo mis estudios de posgrado; mi más sincero agradecimiento a un gran amigo y una excelente calidad de persona, Dr. Rafael Wong Michel, muchas gracias por todo su apoyo incondicional.

Al FESAPAUV y en especial al Mtro. Juan Roberto Mateos Crespo, siempre humilde y apoyando las causas nobles de nuestra facultad, muchas gracias por la beca otorgada a lo largo de este posgrado.

A los laboratorios MOVILAB S. A. de C.V. y Mensuranda S. A. de C.V. por el invaluable apoyo en cada uno de los análisis para dicha investigación.

En esta parte de la tesis siempre uno se convierte en injusto porque se olvida, por no tener registro escrito, de las muchas personas que contribuyeron a que este trabajo salga a la luz. La tesis no es solo su escritura, sino la investigación, la gesta del proyecto en sí, el desarrollo de la idea y muchas cosas más. Enumerar a las personas que me ayudaron en esto sería interminable, ya que por suerte cuento con mucha gente que me ayuda, me ayudó y me seguirá ayudando en este difícil rubro de la investigación.

Sin duda alguna a quien es una gran responsable de esta tesis, mi director; Dra. Marisela López Ortega, quien por supuesto no tiene que ver con mis errores dentro del trabajo, sino que tuvo que ver con la puesta a punto de esta tesis, haciéndose cargo de una responsabilidad a la altura de su grandeza, sin ella esta tesis nunca hubiese sido posible.

A mi comisión lectora Doctoras y profesionales todas ellas: Dra. Griselda Pulido Flores, Dra. Rosa Idalia Hernández Herrera y Dra. María Alejandra López Jiménez, no solo por su labor lectora, que considero magistral, sino también por poner a mi disposición su valiosa experiencia en trabajos de investigación, por todo el estímulo proporcionado que ha dado confianza en mi trabajo y por su paciencia, todo lo cual ha hecho posible la finalización de esta investigación.

A los Académicos de la Maestría, quienes me abrieron un campo muy amplio en el conocimiento y desconocido por mí y me llevaron de la mano durante todo el camino, haciéndome ver lo diferente que puede ser la realidad con diferentes miradas.

Especialmente mi admiración y agradecimiento a personas que siempre apoyaron mi tarea de superarme en todos los sentidos, me refiero a QFB. Espiridión Paredes Cardona, Dr. Pablo Elorza Martínez, C.P. Oralia Elorza Martínez, M.C. Saw Rahee Velázquez Jiménez, Dr. Arturo Serrano Solís.

No existen palabras para expresar mi gratitud y admiración a dos seres increíbles, que desde lo más humilde, desde lo más precario, pero con la fortaleza y el amor mutuo lograron formar una gran familia: Sr. Bruno Godínez Hernández y Sra. Leovigilda Campos Rocha; mis padres, muchas gracias, por darme una vida, por creer en mí y enseñarme el valor de la perseverancia, educación, trabajo, sacrificio, dignidad y sobre todo del amor.

Por supuesto a mis 12 hermanos todos ellos de gran corazón y fortalecidos con el amor de sus familias y en especial a mi hermano y gemelo Abel Godínez Campos, muchas gracias por tu cariño y apoyo.

Finalmente por este trabajo de tesis me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Muchas Gracias

Obed Godínez Campos
Universidad Veracruzana
Septiembre de 2012

INDICE

	PAG.
I.- INTRODUCCIÓN	13
II.- ANTECEDENTES	16
2.1 Características de <i>Neritina reclinata</i>	18
2.1.1 Clasificación taxonómica	19
2.2 METALES PESADOS	20
2.2.1 Definición	20
2.2.2 Origen de los metales pesados	20
2.2.3 Propiedades físicas químicas de los metales pesados	20
2.2.4 Fuentes de metales pesados en el medio ambiente	21
2.2.5 Plomo	21
2.2.6 Cadmio	22
2.2.7 Cromo	22
2.2.8 Cobre	23
2.2.9 Mercurio	23
III.- OBJETIVOS	24
3.1 GENERAL	24
3.2 PARTICULARES	24
IV.- AREA DE ESTUDIO	25
4.1 Sitios de muestreo	27

V.- METODOLOGÍA	.....	28
5.1 Periodo de muestreo	.....	28
5.2 Muestreo de <i>N. reclinata</i>	.....	28
5.3 Trabajo de laboratorio	.....	28
5.4 Análisis estadístico	.....	30
VI.- RESULTADOS	.....	31
6.1 Parámetros fisicoquímicos	.....	31
6.1.1 Salinidad	.....	32
6.1.2 Oxígeno disuelto	.....	33
6.1.3 Temperatura	.....	34
6.2 Metales pesados	.....	35
6.2.1 Cadmio	.....	35
6.2.2 Cromo	.....	37
6.2.3 Cobre	.....	39
6.4.- ANALISIS ESTADISTICO	.....	41
VII.- DISCUSIONES	.....	51
VIII.- CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRACTICAS	.....	55
IX.- BIBLIOGRAFÍA	.....	58
X.- ANEXOS	.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	<i>Neritina reclinata</i> , en su hábitat.	19
FIGURA 2	Localización del área de estudio (20° 58' a 21° 05' latitud Norte y 97° 20' a 97° 24' de longitud Oeste).	26
FIGURA 3	Puntos de muestreo en la laguna de Tampamachoco.	27
FIGURA 4	Equipo de espectrofotometría de absorción atómica de los laboratorios Mensuranda S.A de C.V.	29
FIGURA 5	Concentración de salinidad (ups) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	32
FIGURA 6	Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	33
FIGURA 7	Concentración de Temperatura (°C) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	34
FIGURA 8	Concentración de Cd (mg/kg) en tejido <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	35
FIGURA 9	Concentración de Cd (mg/kg) en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	36
FIGURA 10	Concentración de Cr (mg/kg) en tejido de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	37
FIGURA 11	Concentración de Cr (mg/kg) en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	38

FIGURA 12	Concentración de Cu (mg/kg) en tejido de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	39
FIGURA 13	Concentración de Cu (mg/kg) en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	40
FIGURA 14	Concentración de metales (mg/kg) en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	41
FIGURA 15	Concentración de metales pesados por temporada en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	42
FIGURA 16	Concentración de metales pesados (mg/kg) en tejido de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	43
FIGURA 17	Concentración de metales pesados por temporada en tejido de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	44
FIGURA 18	Salinidad (ups) promedio registrado en los diferentes sitios.	45
FIGURA 19	Salinidad promedio registrada en las diferentes épocas climáticas.	45
FIGURA 20	Oxígeno disuelto promedio registrada en los diferentes sitios de muestreo.	47
FIGURA 21	Temperatura (°C) promedio registrada en los diferentes sitios de muestreo.	49
FIGURA 22	Temperatura promedio registrada en las diferentes sitios	50
FIGURA 23	Laguna de Tampamachoco, Veracruz, visita preliminar del sitio de estudio y determinación de puntos de muestreo.	63
FIGURA 24	Identificación y localización de la especie <i>N. reclinata</i> en los diferentes sitios de muestreo, en la laguna de Tampamachoco Veracruz.	64
FIGURA 25	Trabajo de digestión de tejido y concha respectivamente de <i>N.</i>	65

reclivata.

FIGURA 26 Laboratorio Mensuranda S.A de C.V. donde se analizaron las muestras mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Sitios de Muestreo de <i>N. reclinata</i>	26
TABLA 2	Resultados fisicoquímicos del primer muestreo (época de nortes) diciembre de 2010.	31
TABLA 3	Resultados fisicoquímicos del segundo muestreo (época de secas) abril de 2011.	31
TABLA 4	Resultados fisicoquímicos del tercer muestreo (época de lluvias) septiembre de 2011.	31
TABLA 5	Valores de salinidad (ups) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.	32
TABLA 6	Valores de oxígeno disuelto (ml/l) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	33
TABLA 7	Valores de temperatura (°C) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	34
TABLA 8	Cd (mg/kg) en tejido de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	36
TABLA 9	Cd (mg/kg) en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	37
TABLA 10	Cr (mg/kg) en tejido de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	38
TABLA 11	Cr (mg/kg) en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	39
TABLA 12	Cu (mg/kg) en tejido a de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	40

TABLA 13	Cu (mg/kg) en concha de <i>N. reclinata</i> en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.	41
TABLA 14	Análisis de varianza para salinidad por sitio de muestreo.	45
TABLA 15	Análisis de varianza para salinidad por época climática.	46
TABLA 16	Análisis de varianza para oxígeno disuelto por sitio de muestreo.	47
TABLA 17	Análisis de varianza para oxígeno disuelto por época climática.	48
TABLA 18	Análisis de varianza para temperatura por sitio de muestreo.	48
TABLA 19	Análisis de varianza para la temperatura por época climática.	49

RESUMEN

Las lagunas costeras son ecosistemas que actualmente se encuentran impactados por las actividades humanas y entre los contaminantes más dañinos para la biota acuática, se encuentran los metales pesados; los gasterópodos tienen la capacidad de bioacumularlos y llevar a un aumento en su concentración al pasar por los niveles tróficos superiores (biomagnificación), afectando a sus poblaciones e indirectamente al ser humano, debido a estos factores se propone en la presente investigación utilizar a la especie *Neritina reclivata*, como bioindicador de las concentraciones de cinco metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb y Hg) de interés toxicológico en tejido y concha de la especie *N. reclivata* de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, que se ubica en la zona costera del estado.

El estudio se realizó en tres épocas climáticas, nortes, secas y lluvias, en seis sitios de muestreo: La Mata (sitio 1), Isla 2 (sitio 2), Isla 3 (sitio 3), CFE (sitio 4), Pipiloja (sitio 5) e Isla 6 (sitio 6). El análisis de los metales pesados se realizó a través de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Se registró un comportamiento fisicoquímico estacional, por época climática se registraron valores de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto. Los resultados estadísticos de las variables fisicoquímicas no mostraron diferencias significativas por sitio de análisis pero si existieron diferencias por época climática, los cuales influyeron en la disponibilidad de los metales pesados.

En los seis sitios no se detectaron 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, indican que la Laguna de Tampamachoco, Veracruz presenta contaminación por este metal pesado lo cual nos indica estar en tiempo y forma de atender esta problemática, mediante la aplicación de acciones que prevengan, alerten y corrijan a las actividades que estén permitiendo se vierta este ion al cuerpo de agua y así mismo evitar futuras enfermedades a causa y efecto de las concentraciones de cadmio.

Palabras clave: Laguna costera, contaminación, metales pesados, *Neritina reclivata*, Laguna de Tampamachoco, espectrofotometría de absorción atómica.

I.- INTRODUCCIÓN

La importancia ecológica de lagunas costeras resulta de su alta productividad y por la constitución de hábitats de crianza, alimentación o refugio de diversas especies de invertebrados, peces y aves, residentes o dependientes de estos hábitats en alguna fase de su ciclo de vida (Day *et al.*, 1989). La importancia económica de las lagunas costeras radica en que sostienen pesquerías, acuacultura, turismo y otras actividades productivas que impulsan desarrollos urbanos y portuarios (Kennish, 2000).

En las últimas décadas, muchos cuerpos de agua costeros a nivel mundial han sido receptores de ingresos excesivos de nutrientes aportados por las actividades humanas, generando eutrofización, proceso definido como “un incremento en la tasa de suministro de materia orgánica a un ecosistema” (Nixon, 2005). Los efectos inmediatos de la eutrofización se manifiestan comúnmente con incrementos de la biomasa de fitoplancton, ocurrencia de fitoplancton indeseable o tóxico, exceso de biomasa de macroalgas y disminución de oxígeno disuelto en el agua (Cloern, 2001). Estos efectos están relacionados y normalmente afectan la calidad del agua y la salud de los ecosistemas costeros, aunado a los incrementos en las altas concentraciones de metales pesados que traen consigo severos impactos negativos en la pesca, la acuacultura, el turismo, la recreación y la salud pública (Elliot y De Jonge, 2002). En México, los indicadores generales de calidad del agua muestran que 73 % de los cuerpos de agua están contaminados, debido a que 80 % de las descargas de los centros urbanos y 85 % de las descargas industriales se vierten directamente en ellos sin tratamiento previo. Estos datos muestran la necesidad de implementar políticas públicas ambientales efectivas para evitar la pérdida de los servicios ecosistémicos de las lagunas costeras (CONABIO, 2006).

Una razón importante para conocer las concentraciones naturales de los metales pesados en muestras ambientales es proveer de una referencia verdadera que estime la dimensión de la contaminación. Sin embargo, estas concentraciones son difíciles de obtener porque los niveles naturales difícilmente son encontrados en zonas naturales expuestas. Es necesario extrapolar las concentraciones naturales por otros métodos, y

los resultados no deberían ser confundidos con los valores naturales y como alternativa se propone a los bioindicadores de contaminación que son sistemas biológicos que responden a los tóxicos ambientales con cambios específicos y que nos permiten evaluar el grado de contaminación de cualquier ecosistema.

Para nuestro país es importante porque se cuenta con una gran extensión de litoral y superficies estuarinas, que se distribuyen en 17 estados de la república, de los cuales 6 de ellos se localizan específicamente en el Golfo de México, siendo uno de ellos el estado de Veracruz, que en litoral representan 745 km, y cuenta con 15 cuencas hidrológicas, en esta costa veracruzana existen numerosos cuerpos acuáticos conocidos como lagunas costeras, de entre las que sobresalen: Pueblo Viejo, Tamiahua, Tampamachoco, El Llano, La Mancha, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan y El Ostión. A lo largo de estos ecosistemas no existe un control efectivo sobre la concentración de agentes que alteran estas zonas costeras, y uno de los principales contaminantes son los metales pesados, por lo que es necesario establecer un sistema de vigilancia ambiental costero permanente en el Golfo de México (Rendón *et al.*, 1990).

Los metales pesados afectan estos ecosistemas costeros y alteran de manera significativa la naturaleza tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los metales que más dañan a las lagunas costeras del Golfo de México son el cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), mercurio (Hg), cromo (Cr) y bario (Ba), sus concentraciones están por encima de la normatividad nacional, motivo por el cual debe ponerse atención sobre las concentraciones que se han reportado, mismas que rebasan las normas nacionales y extranjeras (EPA, 2003).

Para el estado de Veracruz, las lagunas costeras son ecosistemas importantes por sus cantidades de sales nutritivas básicas como el fósforo y el nitrógeno que junto con la luz y el dióxido de carbono, son las causas fundamentales de la producción primaria y por lo tanto de la salud del sistema acuático. Esto permite la diversidad de la fauna exclusivamente acuática de las diferentes lagunas, La gran mayoría de las lagunas costeras están rodeadas de bosques de manglares y también presentan grandes extensiones de popales, tulares y asociaciones vegetales similares lo que

incrementa su importancia en la diversidad de organismos (Ponce-Vélez y Botello, 1991; Lankford, 1977).

Los principales peligros para la existencia de las lagunas son la contaminación, como es el uso incontrolado de fertilizantes y/o plaguicidas en tierras aledañas, la alteración, la tala de la vegetación natural que las rodea, los cambios del uso del suelo, el aumento de la población y la migración hacia las costas, los desechos de industrias, el escaso tratamiento de aguas de desecho de las poblaciones ribereñas; con base en los datos que se tienen del estado que guardan las lagunas, se puede afirmar que: todas las lagunas están fuertemente impactadas por las actividades humanas lo que ha provocado, entre otras cosas, el descenso de la pesca en muchos sitios (Barrera *et al.*, 1994).

Es debido a estos factores el interés de conocer a los gasterópodos como posibles bioindicadores de contaminación por metales pesados y conocer las concentraciones de estos iones mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, tanto en tejido como en concha de algunos ejemplares de *Nerítina reclivata*, Say, 1822 y determinar si dichas concentraciones están por encima de las normatividad y representan un problema de contaminación para estos ecosistemas costeros.

II.- ANTECEDENTES

Gamboa *et al.*, (2008), establecen que las poblaciones de peces y macroinvertebrados encontrados en las aguas de un determinado ecosistema fluvial, desarrollan gran parte de su vida allí, asociándose a características típicas del agua, por lo que se constituyen en potenciales indicadores de calidad de ésta.

Reguero (1994), expone la estructura de la malacofauna béntica en once sistemas del Golfo de México, con el propósito de determinar cuáles son las características ambientales que regulan la presencia de los moluscos en estos cuerpos de agua, mostrando una relación recíproca entre el ambiente y sus pobladores en términos de composición específica, patrones de abundancia y distribución de especies de moluscos, pautas de diversidad, tipos de nutrición y asociaciones interespecíficas, relacionando la variación espacio temporal de estos factores con cambios en los registros de temperatura, salinidad, profundidad, transparencia del agua y características del sustrato; dicho análisis de las abundancias, frecuencias y densidades relativas a cada una de las poblaciones de moluscos permitió identificar una comunidad dominante integrada por siete especies que concurren en diferentes cuerpos de agua, donde se localiza a *N. reclinata*.

Cabrera, (1981), evaluó los metales pesados en cuatro lagunas del Golfo de México, una de ellas Tampamachoco y los estudios los realizó en moluscos debido a que presentan hábitos filtradores, específicamente con ostiones, que son capaces de acumular metales pesados, material radiactivo, biotoxinas y microorganismos patógenos, pudiendo causar al hombre severas intoxicaciones o enfermedades; considerados en si buenos indicadores de la contaminación. El monitoreo de metales pesados plomo, cromo, cadmio, mercurio en agua, sedimento y ostión, se encontró que los índices permitidos en agua estuvieron por debajo del límite y en los organismos se logró acumular principalmente cadmio por arriba del límite permisible para el consumo.

Cárdenas *et al.*, (1997), realizaron un estudio sobre dos especies de peces dominantes, determinando los metales pesados, en la laguna de Tampamachoco

Veracruz; encontrando concentraciones de Cd, Cu y Zn, Cr, Pb y Ni, indicando que la mayor concentración de estos iones se daba en organismos de talla pequeña.

De igual manera, Barrera (2006), realiza su estudio sobre toxicidad Cr y Cd en ostión *Crassostrea virginica*, en la laguna de Mandinga, Veracruz, midiendo los metales por espectrofotometría de absorción atómica, obteniendo una concentración letal media, con base en los niveles del agua y en el tejido.

En la mayoría de los estudios los gasterópodos presentan excelentes propiedades como centinela de contaminación por metales en ambientes marinos y terrestres, como lo describe Ureña-Robles, (2007). La química de las valvas de ostrácodos puede emplearse para reconstruir el registro histórico de contaminación de sistemas acuáticos tanto marinos como continentales a partir del análisis de núcleos o materiales subfósiles mismo que realizó, Palacios- Fest *et. al.*, (2003)

Reguero *et al.*, (1990), realizaron un estudio concerniente a la sistemática, distribución, origen halino, tipos de nutrición y relación de los sustratos de moluscos bentónicos en el sistema lagunar Alvarado-Buen País, en el litoral del estado de Veracruz, encontrando 23 especies de la clase Gasterópoda y Bivalva, donde destaca *N. reclinata*, junto con tres especies más en cuanto a su abundancia, frecuencia y densidad.

Reguero *et al.*, (1991), reportan a *N. reclinata* junto con *Cerithidea plicosa*, *Acteocina canaliculata*, *Mulinia lateralis*, *Littoridina sphinctostoma*, *Mytilopsis leucophaeta* dentro de las cuatro especies dominantes de la comunidad de moluscos bentónicos. También reportan que la biocenosis se encontró integrada por 13 especies de bivalvos y sólo una de la clase Gasterópoda; resultaron características *Mulinia lateralis*, *Anadara transversa*, *Lucina pectinata* y *N. reclinata*.

Rico, (1989), realizó estudios poblacionales de *N. virgínea* en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, estableciendo que el género *Neritina* se exhiben en un ambiente tropical, incluyendo especies como *N. reclinata*, entre otras especies que habitan ríos, estuarios, llegando a ser especies importantes para el funcionamiento del ecosistema; igualmente menciona que en México se han hecho pocos estudios sobre la ecología de *Neritina*.

Estudios malacológicos que datan de 1981 exponen a *N. reclinata* dentro de las especies con mayor importancia en cuanto a abundancia total en moluscos en la laguna de Tampamachoco, lo dan a conocer Quintana y Molina, (1981), Zúñiga, (1984), Reguero *et al.*, (1991) y Reguero, (1994).

De igual manera y como parte de un estudio de productividad primaria en la laguna de Alvarado, Veracruz, se reporta a *N. reclinata* como la población más dominante durante todo el año, mostrando las fluctuaciones estuvieron relacionadas con las épocas de máxima floración, determinada a su vez por la baja salinidad en el periodo de lluvias y reportando de igual forma que no se ven afectadas por la alta temperatura (41°C), según Tovilla *et al.* (1987).

Neritina reclinata es común en aguas salobres a dulces; frecuentemente se le encuentra sobre la vegetación sumergida, debido a sus hábitos alimentarios micrófagos, lo establece García-Cubas y Reguero, (1995) y Reguero *et al.*, (1991).

La alta concentración de Cd en *Cyprideis mexicana* en Tamiahua, México es consistente con la alta concentración de este ión en los sedimentos de la laguna (35 µg g⁻¹), esto es lo que reportan Ramírez *et al.*, (1989). El sistema lagunar de Pueblo Viejo–Tamiahua–Tampamachoco recibe aguas residuales de la industria local y regional, así como de fuentes domésticas de localidades tan distantes como la Ciudad de México. Por lo tanto, es posible atribuir a estas fuentes el exceso de Mn según Palacios *et al.*, (2003).

La distribución y abundancia de *N. reclinata* en Tampamachoco está bien documentada, no se han encontrado descripciones de la fauna en la porción del río y su paso por la ciudad de Tuxpan, lo cual le confiere un carácter relevante a este estudio, tanto en la zonificación de la especie como el aporte antropogénico de la Ciudad de Tuxpan respecto a los metales pesados.

2.1 Características de la especie *Neritina reclinata* Say, 1822.

Neritina reclinata es una especie de molusco característico de la fauna malacológica de la laguna de Tampamachoco, con una amplia distribución, además de

encontrarse de forma frecuente en el río y la laguna. Es una especie de gasterópodo fácil de muestrear, mantener y manipular. Lo que le confieren una característica importante para el estudio que nos ocupa en su caso, *N. reclivata*, habita en agua dulce con un opérculo, molusco gasterópodo acuático de la Familia Neritidae, su nombre común es nerite de Oliva, su concha es lisa, con un color verde intenso a quien se debe su nombre común según lo establece Etter, (1989).

2.1.1 Clasificación Taxonómica

Reino Animal

Phyllum Mollusca

Clase: Gastropoda

Subclase Prosobranchia

Orden Archaeogastropoda

Superfamilia Neritacea

Familia Neritidae

Género *Neritina* Lamarck, 1816

Neritina reclivata (Say, 1822)



Figura 1. *Neritina reclivata*, en su hábitat.

2.2 Metales pesados

2.2.1 Definición

El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico con densidad alta, que sea como mínimo 5 veces mayor que la del agua (5g/cm^3) y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de los metales pesados incluyen el: Hg, Cd, Cr, Ni, Pb y Co, como metaloides están el As y Se (EPA, 2006).

2.2.2 Origen de los metales pesados

Son materiales que llegan a las aguas costeras de diferente forma: procesos naturales (intemperismo de las rocas, erupciones volcánicas), actividades humanas (empleo de fertilizantes y plaguicidas en zonas agrícolas), escurrimiento (lavado de suelos), ríos, deposición directa, etc., incluso después de pasar a través de sistemas de tratamiento de agua, es bien sabido que las aguas residuales municipales aún contienen una amplia variedad de contaminantes, incluidos los metales pesados como Pb, Zn, Cd, Hg y Cr, que se descargan en ríos o directamente en el mar (Villanueva y Botello, 1992; Luna *et al.*, 2002; Botello *et al.*, 2004; Pardos *et al.*, 2004; Barlas *et al.*, 2005; Ochieng *et al.*, 2006) los cuales son peligrosos para la biota marina, el hombre y el deterioro ambiental en general (Acosta *et al.*, 2002) y es una preocupación creciente como una mayor cantidad de contaminantes potenciales se movilizan para el medio por las actividades humanas (Saha *et al.*, 2006). Por lo tanto, los peces que habitan en estas zonas suelen estar expuestos a concentraciones crónicas de los diferentes compuestos tóxicos (Abascal *et al.*, 2007).

2.2.3 Propiedades físicas y químicas de metales pesados

En general los metales tienen puntos de ebullición y de fusión altos y de acuerdo a la literatura se considera metal pesado a aquel elemento con densidad mayor a 5.0 g/cm³. La mayoría de los metales son insolubles en agua con un pH neutro o básico, pero fácilmente absorbidos al material particulado, como la materia orgánica e inorgánica (Shrivastava *et al.*, 2003) o los sedimentos, siendo éstos el destino final de los metales en los ambientes acuáticos, en donde la concentración es de 10³ a 10⁷ veces mayor que la concentración de los mismos en la columna de agua (Botello *et al.*, 2004). Algunos autores han mencionado que bajo ciertas condiciones, los sedimentos del fondo pueden ser una gran fuente secundaria de contaminación del agua (Linnik y Zubenko, 2000).

2.2.4 Fuentes de metales pesados en el medio ambiente

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos, una vez emitidos, principalmente debido a la actividad industrial y minera, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, contaminando el suelo y acumulándose en las plantas y los tejidos orgánicos. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Prieto *et al.*, 2009).

2.2.5 Plomo

El Pb es un metal gris-azulado que ocurre naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. Es inodoro, insípido y no tiene valor fisiológico conocido. Se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades antropogénicas como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles. Se presenta en forma natural en las rocas, en los suelos en una

proporción que varía entre 2 y 200 ppm. El mineral más rico es la galena (sulfuro de plomo) y constituye la fuente principal de producción comercial de este metal. El Pb tiene muchos usos diferentes: en la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X. Debido a inquietudes sobre salud pública, la cantidad de Pb en pinturas y cerámicas y en materiales para calafatear y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años.(ATSDR, 2007).

2.2.6 Cadmio

El Cd es un elemento natural de la corteza terrestre. Sus propiedades físicas y químicas son muy similares a las del Zinc (Zn) con frecuencia coexiste con este metal en la naturaleza. En los minerales y las menas, la proporción de Cd y Zn suele oscilar entre 1:100 a 1:1.000. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). El Cd no se corroe fácilmente y tiene muchos usos tales como baterías, pigmentos, revestimiento de metales y plásticos (ATSDR, 2008a).

2.2.7 Cromo

El Cr es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor u olor especial y dependiendo de la forma que toma puede encontrarse en forma de líquido, sólido o gas. El Cr elemental no se encuentra como tal en la naturaleza; forma diversos compuestos en distintos estados de oxidación. Las formas más comunes son el Cr (0), Cr (III) y Cr (VI). El Cr metálico, que es la forma de Cr (0), se usa en la fabricación de acero. El Cr (VI) y el Cr (III) se usan en cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera (ATSDR, 2008b).

3.1.8 Cobre

El Cu es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente en rocas, el suelo, el agua y el aire. Es un elemento esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida. Por lo tanto, las plantas y los animales deben absorber Cu de los alimentos o bebidas que ingieren, o del aire que respiran. Los compuestos de Cu son usados comúnmente en la agricultura para tratar enfermedades de las plantas, como el moho, para tratar agua, y como preservativos para alimentos, cueros y telas. El Cu se usa para fabricar muchos productos diferentes, como por ejemplo, alambres, cañerías y láminas de metal. El Cu también se combina con otros metales para fabricar cañerías y grifos de latón y bronce (ATSDR, 2004).

3.1.9 Mercurio

El Hg se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro (HgS), como mineral de cinabrio, que tiene un contenido medio de mercurio del 0,1 al 4 %. El Hg es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El Hg metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante. Al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro, mucho más pesado que el agua. Se utiliza en termómetros, barómetros, esfigmomanómetros (instrumentos empleados para medir la presión arterial), termostatos de pared para la calefacción y el aire acondicionado, bombillas y tubos fluorescentes, algunas baterías, interruptores de luz eléctrica, algunos reguladores de contadores de gas usados en interiores (ATSDR, 1999).

III.- OBJETIVOS

3.1 GENERAL

- Determinar la concentración de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb y Hg) en ejemplares de *Neritina reclivata* en la laguna de Tampamachoco, Veracruz por la técnica espectrofotometría de absorción atómica.

3.2 PARTICULARES

- Identificar variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura y oxígeno disuelto) in situ del agua de la laguna de Tampamachoco, Veracruz., Al momento del muestreo de la especie colectada.
- Evaluar la concentración de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb y Hg) en concha y tejido del gasterópodo *N. reclivata*, en la laguna de Tampamachoco, Veracruz, considerando las épocas climáticas del año. (nortes, secas y lluvias)

IV.- ÁREA DE ESTUDIO

Colindando con el Golfo de México, Veracruz cuenta con 745 km. de litoral y con un total de 116 600 has cubiertas por ecosistemas litorales de los cuales representan el 7.4 % del total nacional. La laguna de Tampamachoco, se localiza entre los paralelos 20° 58' 15" y 21° 05' de latitud norte y los meridianos 97° 20' 30" a 97° 24' longitud oeste. (Figura 2). Tampamachoco, se ubica en la región huasteca, en la Llanura costera del Golfo de México, en el estado de Veracruz, por la carretera federal N° 180. Población (año 2000): en la ciudad de Tuxpan, 74, 527 habitantes; estado de Veracruz (INEGI, 2001).

La laguna carece de rasgos batimétricos notables a excepción de un canal que va en dirección norte-sur y que se prolonga hasta su comunicación con el estuario Tuxpan, por la parte sur, a 2 km de "La Barra", que la comunica directamente con las aguas del Golfo de México. Esta laguna tiene una marcada influencia mareal y el agua alcanza velocidades de entrada y salida en la boca hasta de 3.04 m/s (Contreras, 1985). En la zona norte de la laguna existen dos canales, "El viejo" y "El Nuevo", que se enlazan con la boca de "La Barra Galindo". Los canales tienen aproximadamente cuatro metros de profundidad y se enlaza con la laguna de Tamiahua, a 40 Km con una anchura máxima de cerca de 1300 m², siendo su extensión 1500 has y una profundidad media de 1.5 m. La mayor parte de la laguna es somera con 60 cm de profundidad aproximadamente, con una máxima en Tampamachoco de 4 m (Castañeda y Contreras, 2001) (Figura 1).

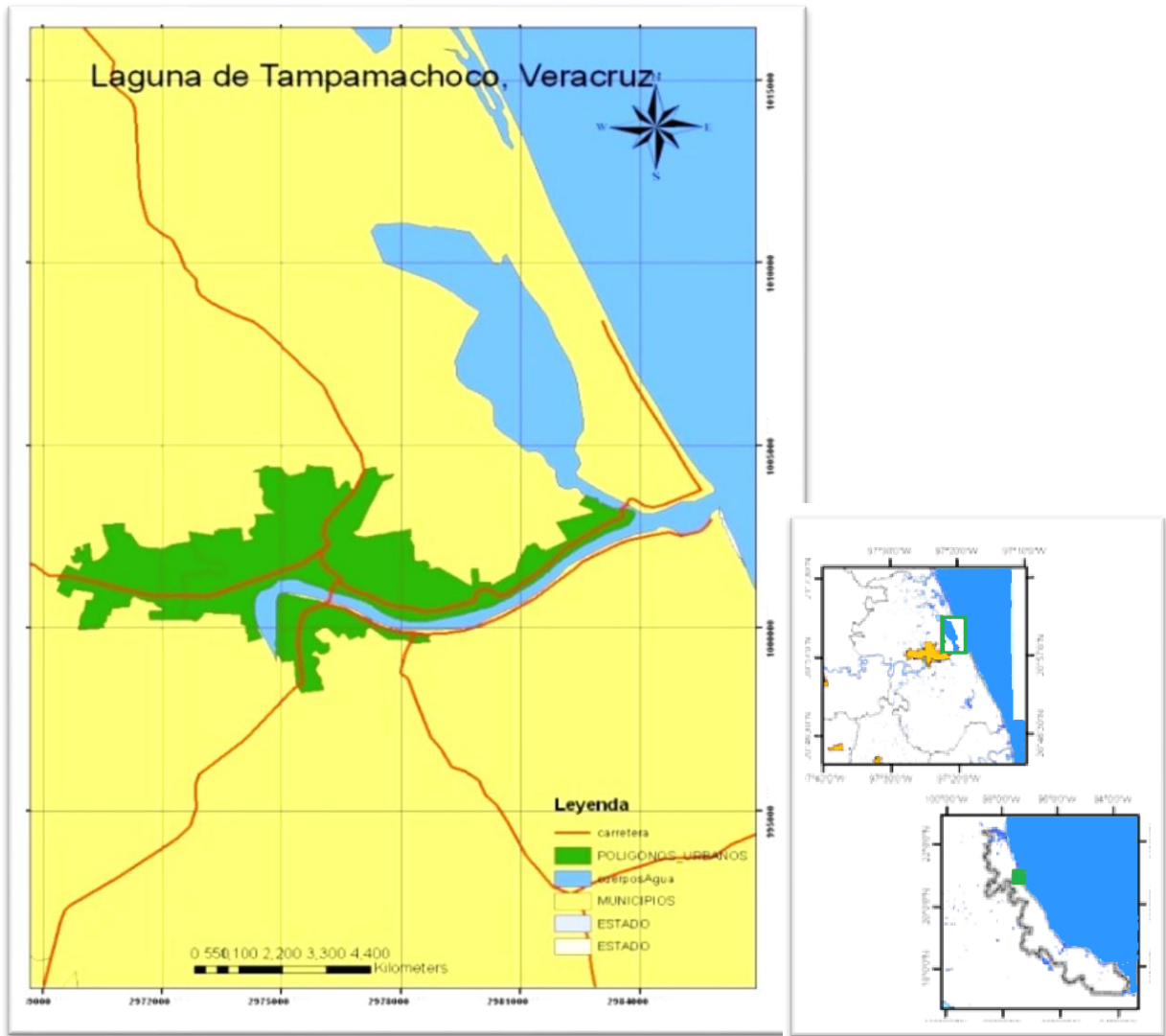


Figura 2. Localización del área de estudio (20° 58' a 21° 05' latitud Norte y 97° 20' a 97° 24' de longitud Oeste).

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

Los vientos predominantes son del norte, conocidos como “Nortes”, presentes de octubre a febrero, pueden alcanzar los 80 km/h. de junio a septiembre se pueden presentar tormentas tropicales o huracanes, con rachas de más de 120 km/h. a su vez,

de marzo a junio se presentan vientos del sur, conocidos como “Suradas” éstos son vientos secos y calientes que disminuyen la humedad atmosférica (INEGI, 2001).

4.1 Sitios de muestreo

Se realizó una visita al área de estudio y se seleccionaron seis puntos de muestreo con base a las características del lugar, se marcó una línea a lo largo del canal de sur a norte enumerando los puntos respectivamente (Figura 3).



Tabla 1. Sitios de Muestreo de *N. reclinata*

P1	La Mata
P2	Isla 2
P3	Isla 3
P4	CFE
P5	Pipiloya
P6	Isla 6

Figura 3. Puntos de Muestreo en la laguna de Tampamachoco.

V.- METODOLOGIA

5.1 Periodo de muestreo

Para la caracterización fisicoquímica de la laguna y la determinación de concentración de metales pesados, se realizó una visita al área de estudio en el mes de septiembre del año 2010 para determinar los puntos de muestreo. Las colectas se realizaron de acuerdo a las épocas climáticas (nortes, secas, y lluvias), en los meses de octubre 2010, febrero y julio 2011, con un GPS se ubicaron las coordenadas de los sitios de muestreo, en total se realizaron tres muestreos en seis puntos de análisis y en cada una de las colectas se registraron datos de variables fisicoquímicas (temperatura, oxígeno disuelto y salinidad) *in situ*, utilizando un multiparámetro marca Hanna HI 9128 calibrado previamente antes de cada muestreo.

5.2 Muestreo de *Neritina reclivata*

Los muestreos se realizaron en cada época climática (nortes, secas y lluvias), en cada uno de los sitios ubicados y georeferenciados, donde se tomaron de manera manual de 100 ± 120 organismos, con tallas de 1.21 ± 2.5 cm previamente identificados de *N. reclivata* y fueron colocados en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas con datos del sitio, número de muestra y fecha. Cada muestra de la especie se transportó al laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias para continuar con su análisis.

5.3 Trabajo de Laboratorio

En el laboratorio se procedió a lavar las neritas con abundante agua para eliminar materia orgánica adherida a las mismas, una vez secas y con ayuda de un microscopio estereoscópico y un estuche de disección se procedió a separar los tejidos de las conchas de cada uno de los organismos colectados para poder llevar a cabo la digestión por separado y siguiendo los protocolos que establece la NOM-001- ECOL-1996. Se colocaron las muestras en cápsulas de porcelana y se procedió a calcar cada muestra en mufla (400° C) durante 30 minutos, hasta la mineralización total. Los métodos usados

en tejido para la digestión vía seca fueron de acuerdo con NOM-001- ECOL-1996 y en concha se utilizó la metodología de Palacios Fest (2003). Las muestras acidificadas previamente con ácido nítrico (HNO_3) concentrado se depositaron en tubos de ensaye, debidamente etiquetados y sellados y fueron enviados a los laboratorios Mensuranda S.A de C.V, (Acreditado por la EMA) para su respectivo análisis, siguiendo el protocolo de entrega de resultados. La determinación de concentraciones de metales pesados en *N. reclinata* se realizó por espectrofotometría de absorción atómica con llama FS220. (GBC Modelo 932) (Figura 4)



Figura 4. Equipo de espectrofotometría de absorción atómica de los laboratorios Mensuranda S.A de C.V

5.4 Análisis estadístico

Una vez que se conocieron las concentraciones de cada uno de los metales pesados en tejido como en concha de *N. reclinata*, y los resultados de los parámetros fisicoquímicos se realizaron los análisis estadísticos mediante el software IBM SPSS Statistics 20.0 que consistieron en un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas de los metales en las épocas climáticas del año. Finalmente se llevó a cabo una correlación múltiple entre los parámetros fisicoquímicos con los metales tanto en tejido como en concha respectivamente y saber si uno de estos influye con las concentraciones encontradas.

VI.- RESULTADOS

6.1 Parámetros Físicoquímicos

Se realizaron mediciones de salinidad (ups), oxígeno disuelto (mg/l) y temperatura (°C), en cada uno de los sitios de muestreo, estas mediciones se realizaron *in situ*. Los valores encontrados se muestran en las tablas 2,3, y 4.

Tabla 2. Resultados físicoquímicos del primer muestreo (época de nortes) diciembre de 2010.

Parámetro		La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Salinidad	ups	29.5	29.9	27.5	28.53	30.95	31.57
O.D.	mg/l	5.61	5.19	5.16	4.69	5.23	5.76
Temperatura	°C	23.19	23.53	23.58	24.60	24.28	24.45

Tabla 3. Resultados físicoquímicos del segundo muestreo (época de secas) abril de 2011.

Parámetro		La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Salinidad	ups	32.16	32.69	32.88	31.16	32.06	32.38
O.D.	mg/l	6.59	6.23	6.51	5.96	6.23	6.17
Temperatura	°C	25.32	25.39	25.58	25.86	25.74	25.93

Tabla 4. Resultados físicoquímicos del tercer muestreo (época de lluvias) septiembre de 2011

Parámetro		La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Salinidad	ups	15.19	15.05	14.93	14.85	14.76	14.09
O.D.	mg/l	5.19	5.85	5.46	5.51	5.56	5.93
Temperatura	°C	26.43	26.51	26.45	26.53	26.59	25.91

6.1.1 Salinidad

La salinidad no presentó variaciones entre los sitios analizados, las concentraciones se presentaron de la siguiente manera: la menor concentración fue en la época de lluvias con valores de 14.09 ups y se localizó en el sitio Isla 6, la mayor concentración se localizó en la época de secas con valor de 32.88 ups y fue en el sitio Isla 3, con un promedio anual de 25.56 ups (Tabla 5 y Figura 5).

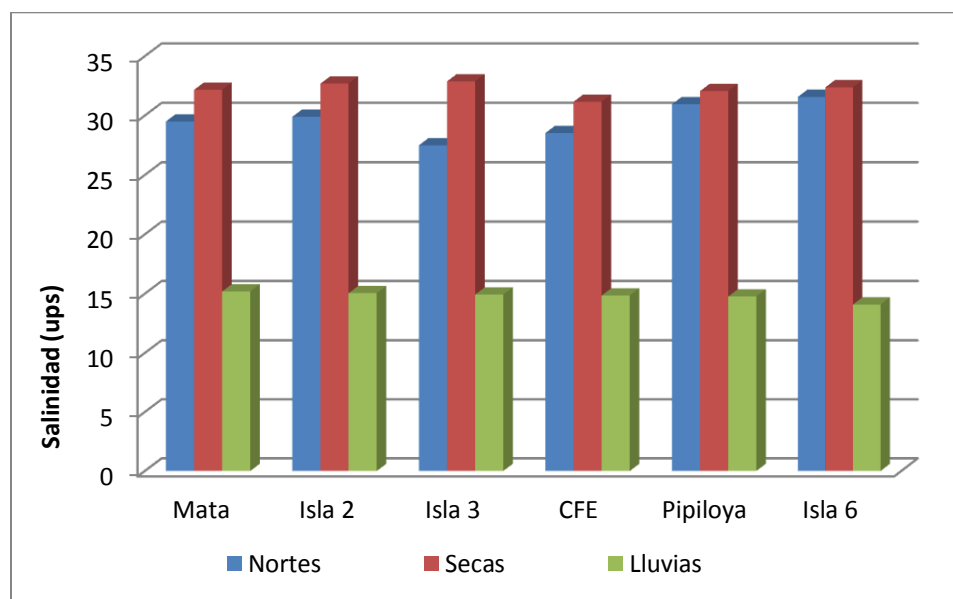


Figura 5. Concentración de Salinidad (ups) por épocas climáticas, en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 5. Valores de Salinidad (ups) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	29.5	29.9	27.5	28.53	30.95	31.57
Secas	32.16	32.69	32.88	31.16	32.06	32.38
Lluvias	15.19	15.05	14.93	14.85	14.76	14.09

6.1.2 Oxígeno disuelto

Los resultados obtenidos de oxígeno disuelto, no registraron variaciones en los sitios analizados, los valores más altos se presentaron en época de secas con 6.59 mg/l en el sitio La Mata y valores menores en época de nortes con 4.69 mg/l en el sitio CFE, dando un promedio anual de 5.71 mg/l (Tabla 6 y Figura 6).

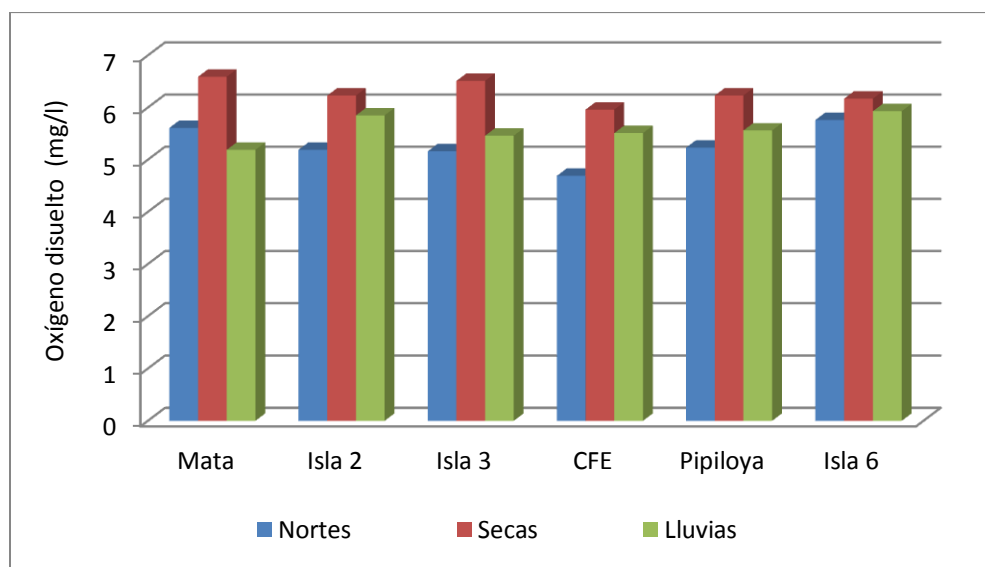


Figura 6. Concentración de Oxígeno disuelto (mg/l) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz

Tabla 6. Valores de Oxígeno disuelto (mg/l) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	5.61	5.19	5.16	4.69	5.23	5.76
Secas	6.59	6.23	6.51	5.96	6.23	6.17
Lluvias	5.19	5.85	5.46	5.51	5.56	5.93

6.1.3 Temperatura

Los resultados que muestran que la temperatura del agua registró fluctuaciones moderadas durante el todo el periodo de muestreo, la mínima fue de 23.19°C en época de la temporada de nortes, en el sitio La Mata y la máxima de 26.59°C, en la temporada de lluvias en el sitio Pipiloya, con un promedio anual de 25.32°C para toda el área de estudio. En el sitio La Mata se registraron los valores más bajos durante el periodo de muestreo, incrementándose en la parte interna de la laguna (Tabla 7 y Figura 7).

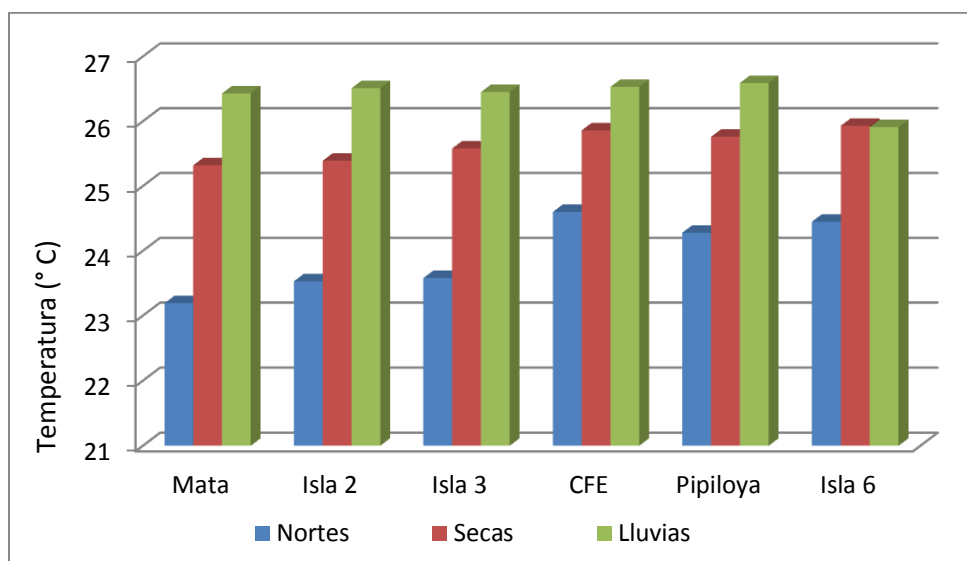


Figura 7. Concentración de Temperatura (°C) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 7. Valores de Temperatura (°C) por épocas climáticas en la Laguna de Tampamachoco Veracruz.

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	23.19	23.53	23.58	24.6	24.28	24.45
Secas	25.32	25.39	25.58	25.86	25.76	25.93
Lluvias	26.43	26.51	26.45	26.53	26.59	25.91

6.2 Metales pesados

Las evaluaciones de las concentraciones de los metales Cd, Cr, Cu, Pb y Hg se realizaron en tejido y concha de *N. reclinata*, de los seis puntos de muestreo estudiados. Solo se localizó a la especie en los primeros cuatro puntos (Figura 3) y de los cinco metales señalados solo se detectaron tres (Cd, Cr y Cu). Los valores de Pb y Hg se presentaron por debajo del límite de detección del equipo de laboratorio.

6.2.1 Cadmio (Cd)

Este elemento registró valores promedio anual de 1.33 mg/kg, en tejido de la especie *N. reclinata*; los sitios de muestreo mostraron los siguientes resultados: en los cuatro puntos que se muestreó a la especie, la mayor concentración se localizó en la época de nortes y de la misma forma en los cuatro puntos la menor concentración de este metal se localizó en la época de secas, siendo el valor más alto 1.55 mg/kg que se localizó en La Mata en la época de nortes y el valor más bajo en el sitio Isla 2, con un valor de 0.95 mg/kg; todos los sitios rebasaron el LMP que establece la NOM-029-SSA1-1996 (0.5 mg/kg). (Tabla 8 y Figura 8).

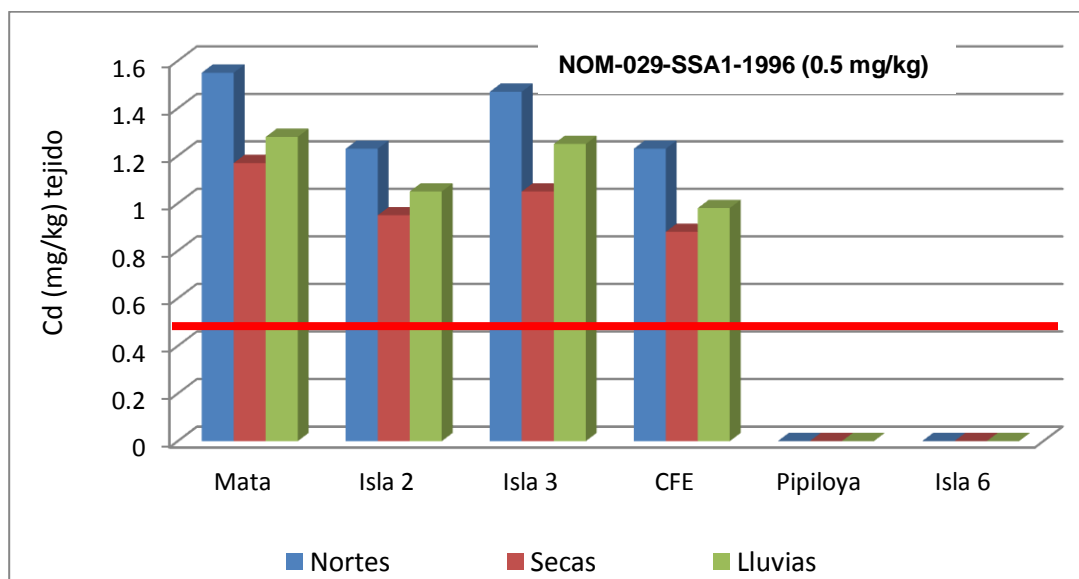


Figura 8. Concentración de Cd (mg/kg) en tejido *N. reclinata*, en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 8. Cd (mg/kg) en tejido de *N. reclivata* de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	1.55	1.23	1.47	1.23	ND	ND
Secas	1.17	0.95	1.05	0.88	ND	ND
Lluvias	1.28	1.05	1.25	0.98	ND	ND

ND: NO DETECTADO

Las concentraciones de Cd registraron un promedio de las épocas climáticas de 0.62 mg/kg en concha de la especie *N. reclivata*; los sitios de muestreo mostraron los siguientes resultados: en los cuatro puntos que se muestreo a la especie, la mayor concentración se localizó en la época de nortes y de la misma forma en los cuatro puntos la menor concentración de este metal se localizó en la época de secas. Siendo el valor más alto 0.77mg/kg que se localizó en el sitio Isla 3, en la época de nortes y el valor más bajo en el sitio Isla 2, con un valor de 0.47 mg/kg; solo un sitio isla 2 se mostró ligeramente por debajo del LMP, el resto de los sitios rebasaron la normatividad que establece la NOM-029-SSA1-1996 (0.5 mg/kg). (Tabla 9 y Figura 9).

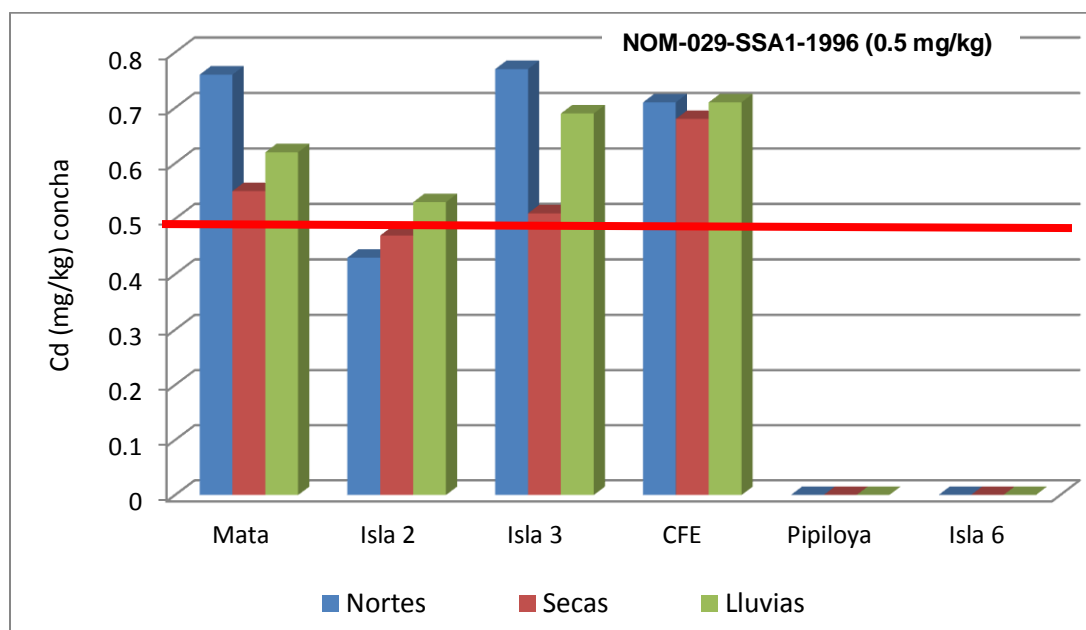


Figura 9. Concentración de Cd (mg/kg) en concha de *N. reclivata*, en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 9. Cd (mg/kg) en concha de *N. reclivata* de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	0.76	0.43	0.77	0.71	ND	ND
Secas	0.55	0.47	0.51	0.68	ND	ND
Lluvias	0.62	0.53	0.69	0.71	ND	ND

ND: NO DETECTADO

6.2.2 Cromo (Cr)

Este metal registró un promedio anual de las épocas climáticas de 2.02 mg/kg, localizando al sitio que se encontró con una concentración mayor de 3.52 mg/kg y corresponde a La Mata, en época de lluvias y el de menor concentración de este metal fue de 1.17 mg/kg y fue en la época de secas en el sitio CFE, no se localizaron valores que estén por encima con lo que establece la FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos de EUA), 1993 un LMP de 12 mg/kg. (Tabla 10 y Figura 10).

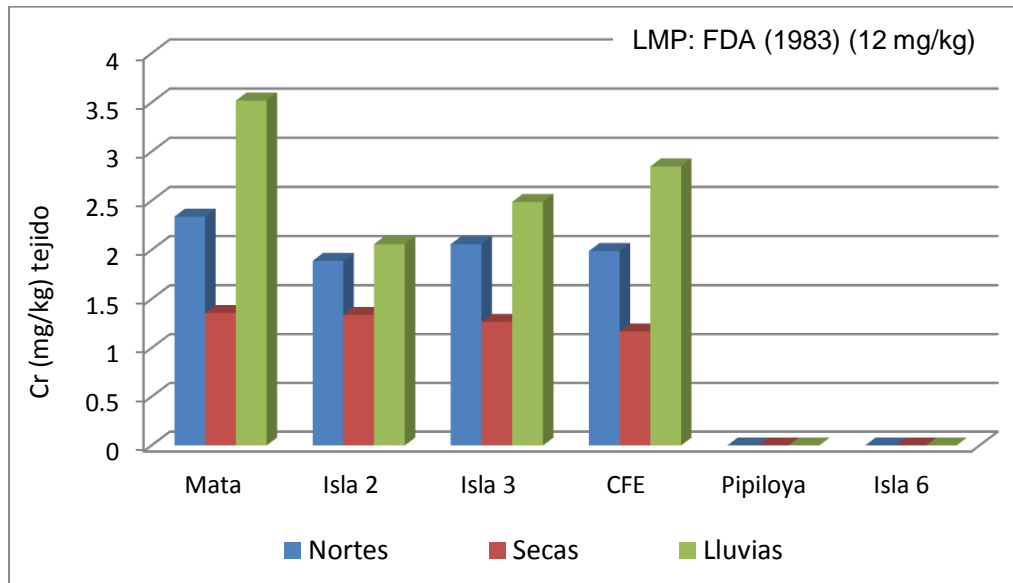


Figura 10. Concentración de Cr (mg/kg) en tejido de *N. reclivata*, en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 10. Cr (mg/kg) en tejido de *N. reclivata*, en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	2.34	1.89	2.06	1.99	ND	ND
Secas	1.36	1.34	1.27	1.17	ND	ND
Lluvias	3.52	2.06	2.49	2.85	ND	ND

ND: NO DETECTADO

Los valores que se encontraron en muestras de concha para el metal Cr en promedio anual de las épocas climáticas fue de 0.76 mg/kg, localizando la mayor concentración en La Mata con una concentración de 1.08 mg/kg en época de lluvias y la concentración menor localizada fue en la época de secas con un valor de 0.34 mg/kg en el sitio Isla 2; no se localizaron valores que estén por encima con lo que establece la FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos de EUA), 1993 un LMP de 12 mg/kg. (Tabla 11 y Figura 11).

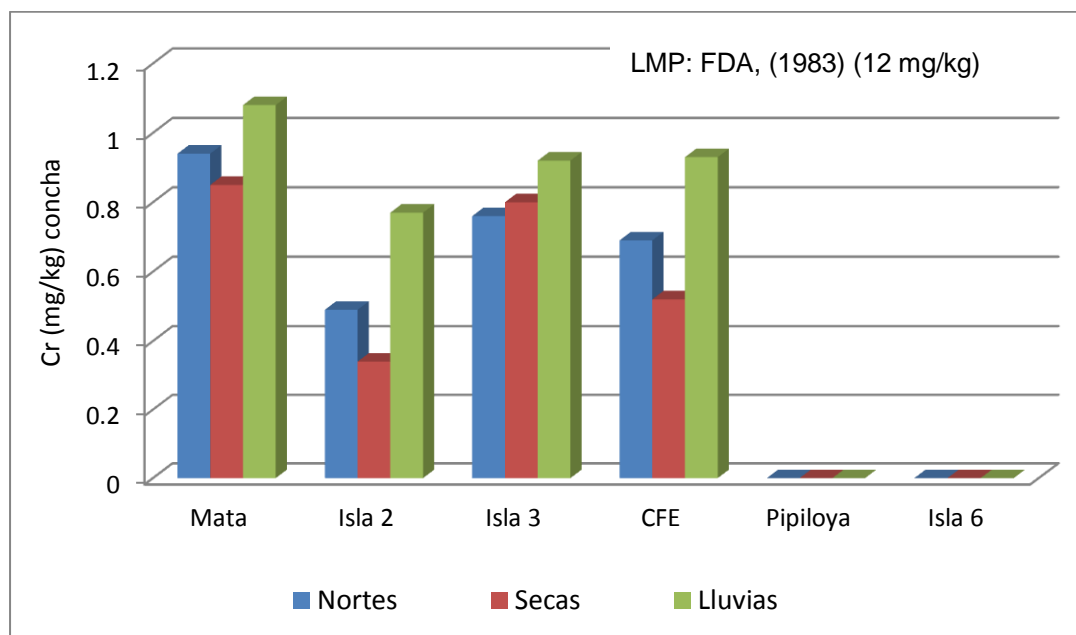


Figura 11. Concentración de Cr (mg/kg) en concha de *N. reclivata*, en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 11. Cr (mg/kg) en concha de *N. reclivata* en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	0.94	0.49	0.76	0.69	ND	ND
Secas	0.85	0.34	0.80	0.52	ND	ND
Lluvias	1.08	0.77	0.92	0.93	ND	ND

ND: NO DETECTADO

6.2.3 Cobre (Cu)

Las concentraciones promedio anual de este metal durante las épocas climáticas, en tejido de *N. reclivata*, fueron de 11.32 mg/kg, la más alta concentración que se obtuvo fue en el sitio La Mata, con un valor de 15.63 mg/kg y fue durante la época de nortes, la más baja de las concentraciones ocurrió en el sitio Isla 2 con un valor de 7.65 mg/kg, no se localizaron valores que estén por encima con lo que establece la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) 1993, un LMP de 32.5 mg/kg.

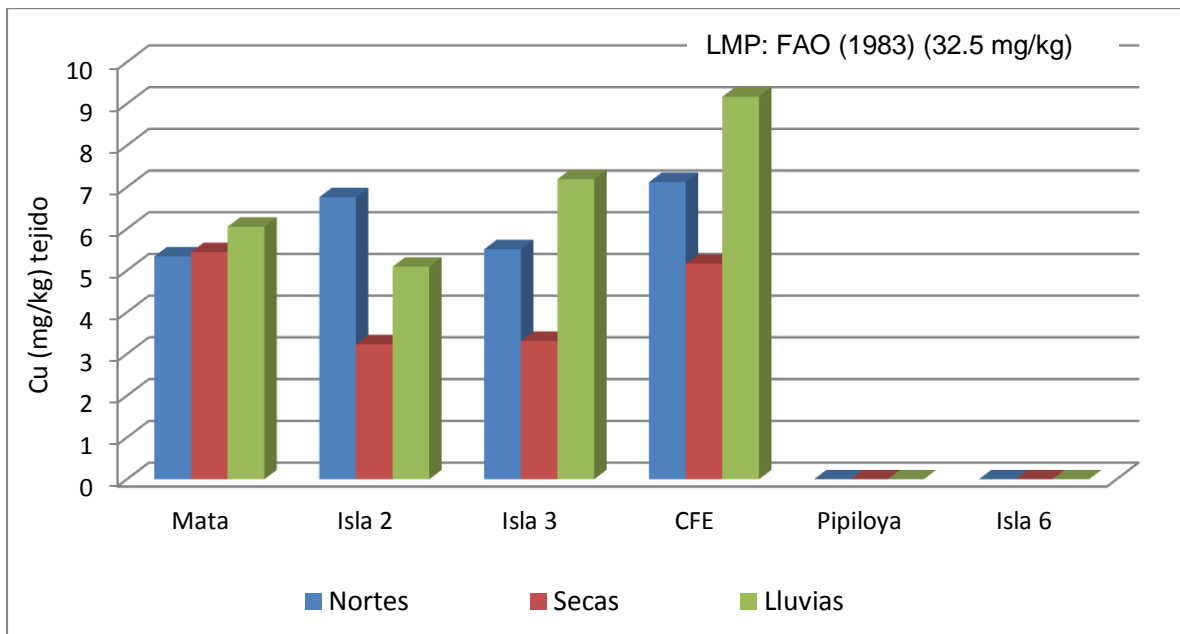


Figura 12. Concentración de Cu (mg/kg) en tejido de *N. reclivata*, en La Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 12. Cu (mg/kg) en tejido de *N. reclivata* en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	15.63	10.09	12.07	11.14	ND	ND
Secas	9.32	7.65	11.06	11.97	ND	ND
Lluvias	12.14	9.77	10.94	14.09	ND	ND

ND: NO DETECTADO

Las concentraciones promedio anual de Cu durante las épocas climáticas, en concha de *N. reclivata*, fueron de 5.78 mg/kg, la más alta concentración que se obtuvo fue en el sitio CFE, con un valor de 9.17 mg/kg y fue durante la época de lluvias, la más baja de las concentraciones ocurrió en el sitio Isla 2 con un valor de 3.23 mg/kg, no se localizaron valores que estén por encima con lo que establece la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) 1993, un LMP de 32.5 mg/kg.

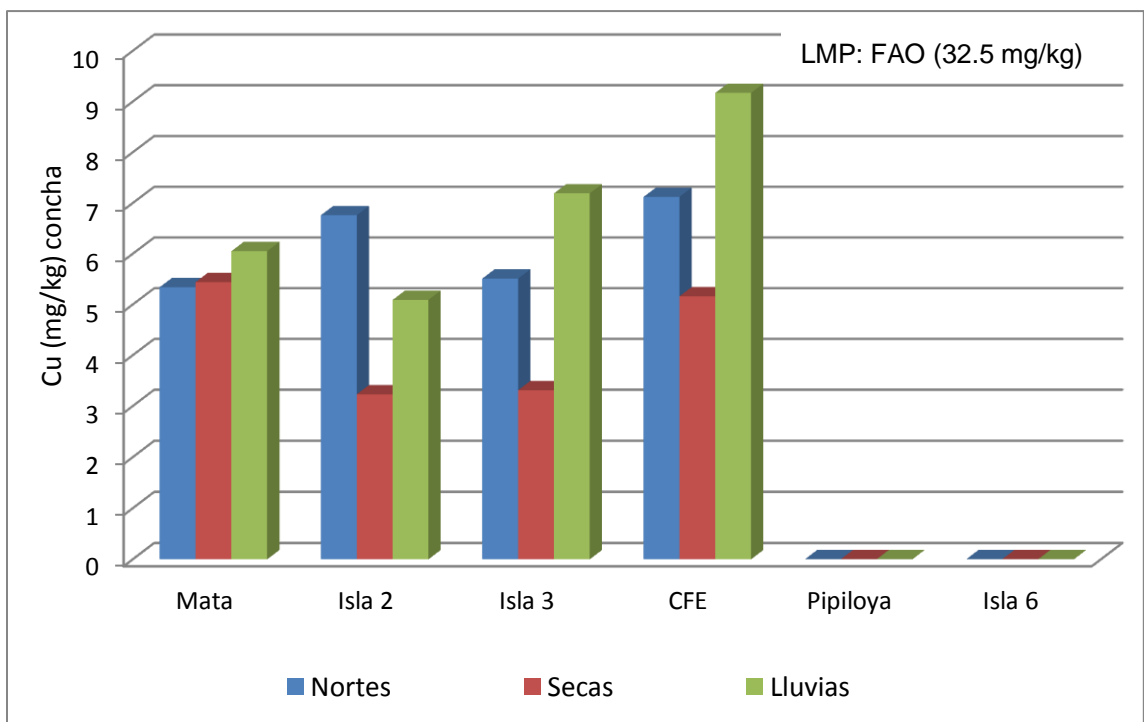


Figura 13. Concentración de Cu (mg/kg) en concha de *N. reclivata*, en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Tabla 13. Cu (mg/kg) en concha de *N. reclivata* en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

	La Mata	Isla 2	Isla 3	CFE	Pipiloya	Isla 6
Nortes	5.34	6.76	5.51	7.12	ND	ND
Secas	5.44	3.23	3.31	5.16	ND	ND
Lluvias	6.05	5.09	7.19	9.17	ND	ND

ND: NO DETECTADO

6.4.- ANALISIS ESTADISTICO

Una vez que aplicó el análisis estadístico mediante el software IBM SPSS Statistics 20.0 que consistieron en un un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre las concentraciones de los metales en los sitios de muestreo se obtuvo la siguiente correlación, solo en el Cu existió una ligera diferencia entre el sitio CFE y el sitio Isla 2, los demás iones no presentaron ninguna diferencia significativa. (Figura 14).

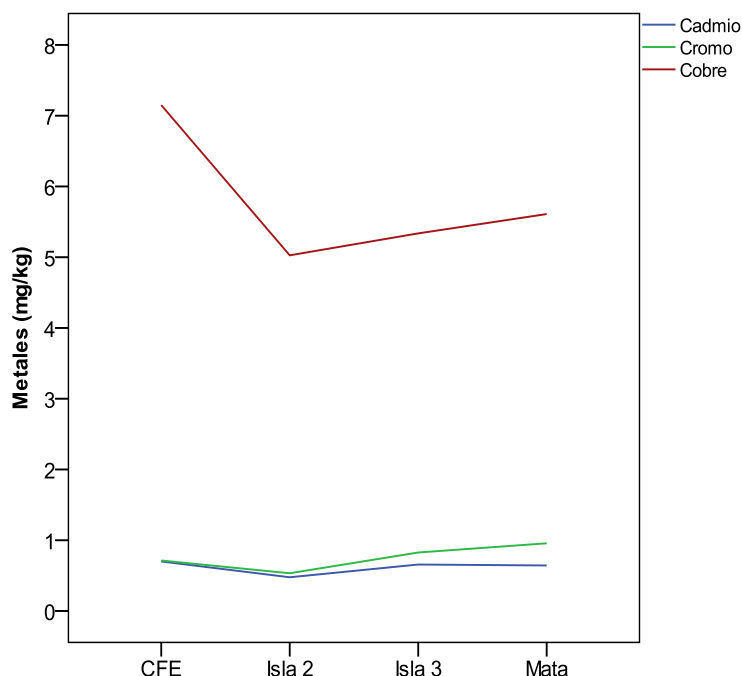


Figura 14. Concentración de metales (mg/kg) en la concha de *Neritina reclivata*

en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz..

Los análisis estadísticos mediante el software IBM SPSS Statistics 20.0 también permitieron mostrar la relación que existe entre las concentraciones de los iones analizados con respecto a las épocas climáticas y los resultados nos indican que fue el Cu quien muestra una ligera diferencia de concentración entre la época de lluvia en relación a la época de secas.(Figura 15).

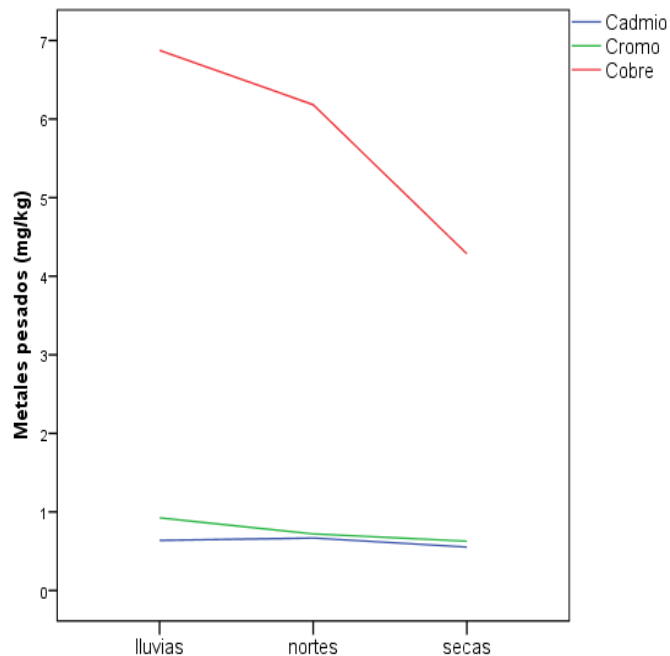


Figura 15. Concentración de metales pesados por temporada en Concha de *N. redivata* de la Laguna de Tampachoco, Veracruz

De la misma forma se aplicó el análisis estadístico mediante el software IBM SPSS Statistics 20.0 en resultados de tejido de la especie estudiada, que consistieron en un un análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre las concentraciones de los metales en los sitios de muestreo se obtuvo la siguiente correlación; solo en el cobre existió una diferencia entre el sitio CFE y La Mata en relación al sitio Isla 2, los demás iones no presentaron ninguna diferencia significativa con respecto al sitio de muestreo. (Figura 16).

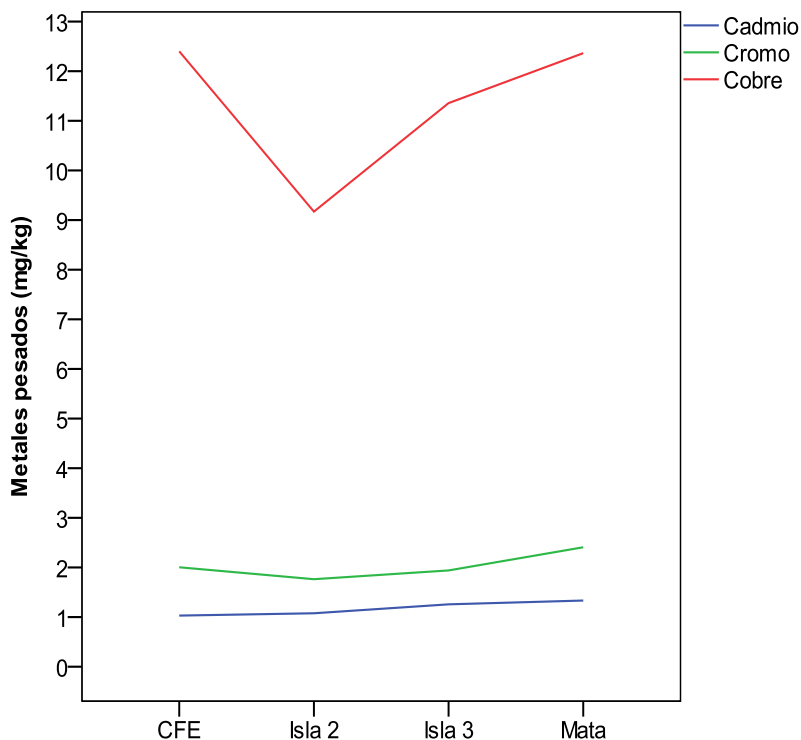


Figura 16. Concentración de metales (mg/kg) en tejido de *Neritina reclivata* en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

En los resultados de tejido de *N. reclivata*, en relación a las épocas climáticas, los análisis estadísticos mediante el software IBM SPSS Statistics 20.0 también permitieron mostrar la relación que indican que fue el cobre quien muestra una ligera diferencia de concentración entre la época de nortes en relación a la época de secas.(Figura 17).

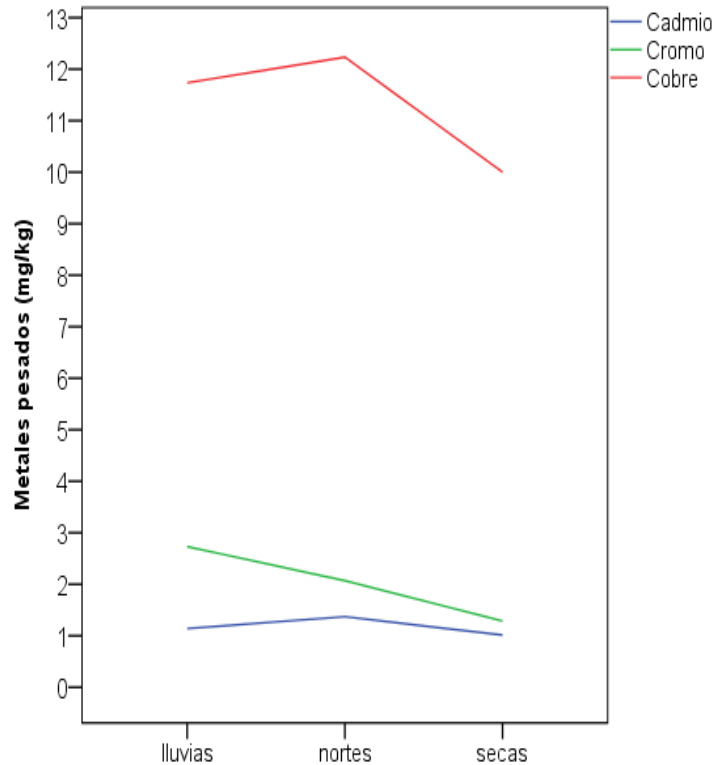


Figura 17. Concentración de metales pesados por temporada en tejido de *N. reclinata* de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz.

Los análisis de varianza realizados para comparar las variables de salinidad, oxígeno disuelto y temperatura considerando los sitios de muestreo y las épocas climáticas, mostraron que no existen diferencias estadísticamente significativas cuando se analizaron los sitios de muestreo y $p > 0.05$, mientras que para las variables de épocas climáticas si existieron diferencias estadísticamente significativas y $p < 0.05$: Es importante señalar que no se logró correlacionar los factores fisicoquímicos, con las concentraciones de iones analizados, debido a que los datos obtenidos de estos iones, los laboratorios reportaron en sus repeticiones de concentraciones la misma concentración para cada ion, por lo tanto no existen diferencias significativas.

En los análisis de varianza del factor salinidad, los resultados por sitio de muestreo no son estadísticamente significativos debido a que $p > 0.5$, mostrando la mayor

concentración en el sitio CFE y la menor concentración en el sitio Pipiloya, se muestran las características a evaluar de la variables dependiente (Tabla 14 y Figura 18).

Tabla 14. Análisis de Varianza para salinidad por sitio de muestreo

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente:Salinidad

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10.558 ^a	5	2.112	.032	.999
Intersección	35292.227	1	35292.227	526.899	.000
Sitio	10.558	5	2.112	.032	.999
Error	3215.091	48	66.981		
Total	38517.876	54			
Total corregida	3225.649	53			

a. R cuadrado = .003 (R cuadrado corregida = -.101)

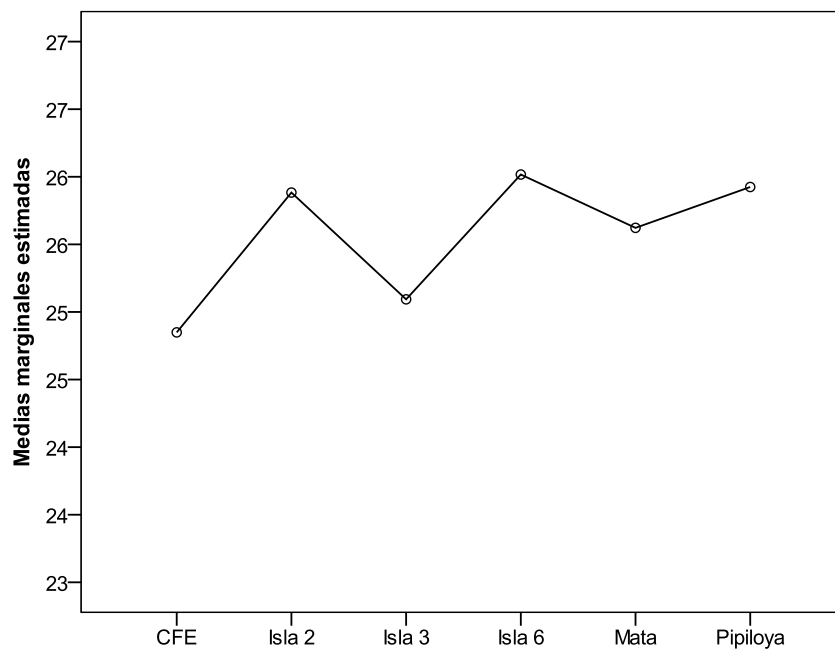


Figura 18. Salinidad (ups) promedio registrada en los diferentes sitios.

La salinidad considerando las épocas climáticas, si mostraron diferencias estadísticamente significativas y se dio esta diferencia entre la época de lluvias con la época de secas que fueron las más señaladas, aunque nortes y secas fue muy poca la diferencia aquí $p < 0.5$ (Tabla 15 y Figura 19).

Tabla 15. Análisis de Varianza para salinidad por época climática.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Salinidad

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3180.492 ^a	2	1590.246	1795.993	.000
Intersección	35292.227	1	35292.227	39858.363	.000
Epoca	3180.492	2	1590.246	1795.993	.000
Error	45.157	51	.885		
Total	38517.876	54			
Total corregida	3225.649	53			

a. R cuadrado = .986 (R cuadrado corregida = .985)

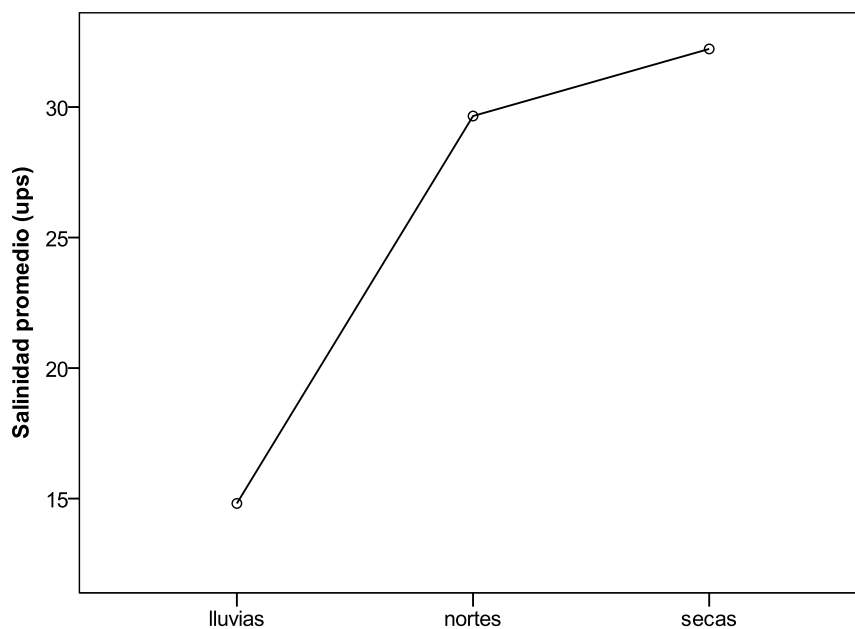


Figura 19. Salinidad promedio registrada en las diferentes épocas climáticas. Las diferencias son estadísticamente significativas.

Los análisis de varianza realizados para el factor de oxígeno disuelto, en el caso de sitios de muestreo no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los puntos analizados encontrando que $p > 0.5$ (Tabla 16 y Figura 20).

Tabla 16. Análisis de Varianza para oxígeno disuelto por sitio de muestreo.

Variable dependiente: Oxígeno

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.458 ^a	5	.092	.242	.942
Intersección	1798.278	1	1798.278	4744.676	.000
Sitio	.458	5	.092	.242	.942
Error	18.192	48	.379		
Total	1816.928	54			
Total corregida	18.650	53			

a. R cuadrado = .025 (R cuadrado corregida = -.077)

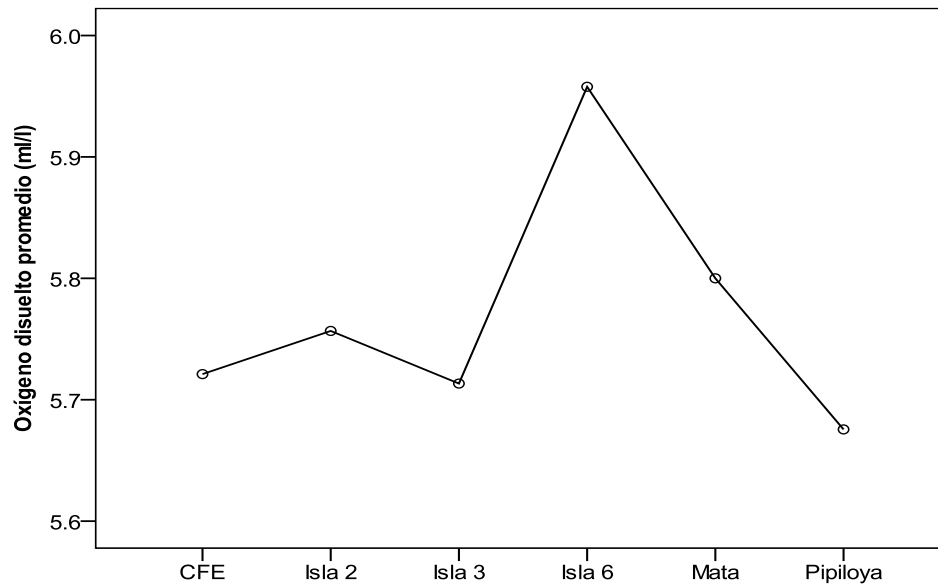


Figura 20. Oxígeno disuelto promedio registrada en los diferentes sitios de muestreo.

Los análisis de varianza para el oxígeno disuelto, considerando las épocas climáticas, si mostraron diferencias estadísticamente significativas y se dio esta diferencia entre la época de secas con la época de nortes que fueron las más señaladas, $p < 0.5$ (Tabla 17).

Tabla 17. Análisis de Varianza para oxígeno disuelto por época climática.

Variable dependiente: Oxígeno

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	13.356 ^a	2	6.678	64.332	.000
Intersección	1798.278	1	1798.278	17323.399	.000
Epoca	13.356	2	6.678	64.332	.000
Error	5.294	51	.104		
Total	1816.928	54			
Total corregida	18.650	53			

a. R cuadrado = .716 (R cuadrado corregida = .705)

En los análisis de varianza considerando el factor temperatura (°C), por sitio de muestreo no son estadísticamente significativos debido a que $p > 0.5$, mostrando la mayor concentración en el sitio Isla 3 y la menor concentración en el sitio Isla 2, se muestran las características a evaluar de la variables dependiente (Tabla 18 y Figura 21).

Tabla 18. Análisis de Varianza para temperatura por sitio muestreo.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7.527 ^a	5	1.505	.906	.485
Intersección	34795.981	1	34795.981	20945.464	.000
Sitio	7.527	5	1.505	.906	.485
Error	79.741	48	1.661		
Total	34883.249	54			
Total corregida	87.268	53			

a. R cuadrado = .086 (R cuadrado corregida = -.009)

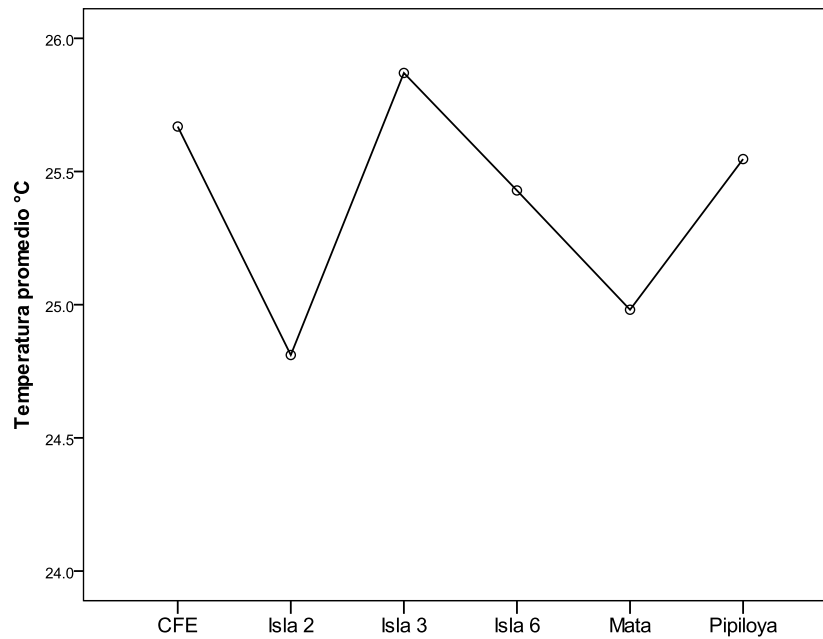


Figura 21. Temperatura promedio registrada en los diferentes sitios.

La variación de la temperatura en las épocas climáticas, la Temperatura mostró diferencias estadísticamente significativas ($p=485$). Existe diferencia entre la época de nortes con las épocas de lluvias y secas que estas últimas no mostraron grandes diferencias aquí $p<0.5$ (Tabla 19 y Figura 22).

Tabla 19. Análisis de varianza para la temperatura por época climática.

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	56.795 ^a	2	28.397	47.526	.000
Intersección	34795.981	1	34795.981	58234.762	.000
Epoca	56.795	2	28.397	47.526	.000
Error	30.473	51	.598		
Total	34883.249	54			
Total corregida	87.268	53			

a. R cuadrado = .651 (R cuadrado corregida = .637)

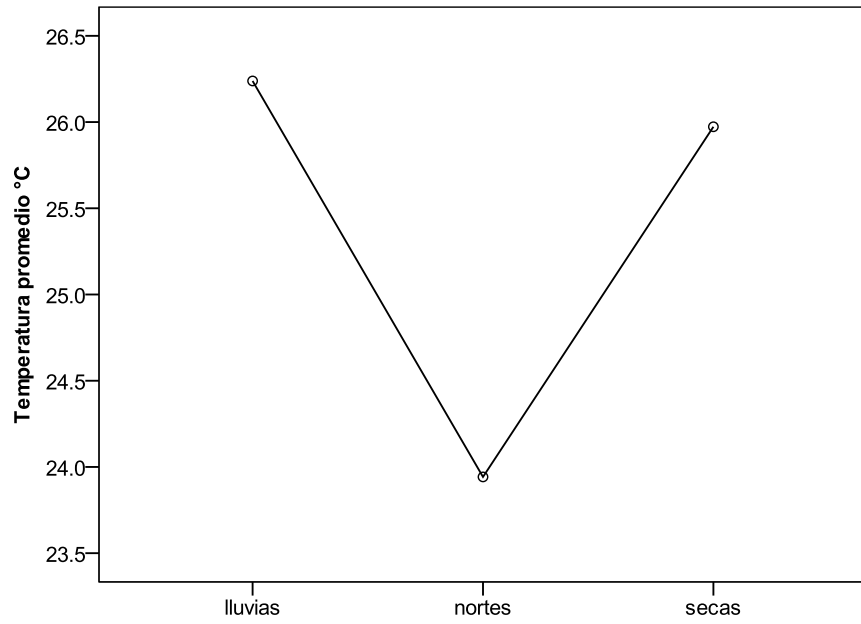


Figura 22. Temperatura promedio registrada en los diferentes sitios.

VII.- DISCUSION

Las altas concentraciones de metales pesados son sin duda uno de los aspectos que más preocupan sobre contaminación y degradación de los ecosistemas costeros, (Jeon *et al.*, 2004). La laguna de Tampamachoco a lo largo de los años ha sido objeto de estudio en diversos aspectos relacionados con su diversidad, estructura de las comunidades, contaminación por hidrocarburos, contaminación bacteriana y algunos aspectos de metales pesados en organismos propios del sistema lagunar. Como es el caso en estudio de tejidos y concha del gasterópodo *N. reclinata* y así poder tratar de cerca la problemática de contaminación en la laguna.

Tapia (2007) reportó en un estudio realizado en el Golfo de Tehuantepec con relación a la dinámica del medio ambiente y mediante la integración de datos *físicoquímicos en temporadas climáticas, secas, lluvias y nortes, donde se registraron salinidades de 33 a 34.7 ups de junio a noviembre y hubo una variación de noviembre a mayo de 11.9 a 29.8 ups. Los datos registrados en este trabajo dieron como resultado valores en las épocas de secas de 32.22 ups, nortes 29.66 ups y lluvias 14.81 ups, encontrando similitud con el comportamiento de salinidad que señala Carrillo *et al.*, (2009) donde menciona que la distribución espacial de la salinidad presenta un claro patrón estacional, demostrando que la salinidad es más baja en la época de lluvias y más alta en la época de secas. La salinidad modifica la captación de metales pesados, bajas salinidades, incrementan su biodisponibilidad y la incorporación debido a los cambios de la especiación química del metal, por los efectos del metal en los mecanismos de regulación iónica y osmótica en el organismo al bajar la salinidad (Rainbow, *et al.*, 1993).

En cuanto a los resultados obtenidos de las concentraciones de metales pesados estudiados en tejido como en concha de la especie *N. reclinata* no se detectó la presencia de Pb y Hg, su registro estuvo muy por debajo de los límites de detección del equipo

Las concentraciones de Cr y Cu, no rebasaron los LMP que establece la normatividad internacional FAO y FDA respectivamente, se encontraron valores de Cu de 7.65 ± 15.63 mg /kg en tejido y 3.23 ± 9.17 mg/kg en concha, cuando la FAO establece un LMP de 12 mg/kg en relación al Cr los valores fluctuaron de 1.27 ± 3.52 mg/kg en tejido y de 0.34 ± 1.08 mg/kg en concha, López (2012) reporta concentraciones de Cr en la laguna de Tampamachoco de 3.32 mg/kg y comparando los registros con otros sistemas lagunares del propio Golfo de México estudiados por Botello (2005), como son Alvarado con 13.75 mg/kg, Mandinga con 14.75 mg/kg y Tamiahua con 26.40 mg/kg, lo que muestra que no hay problemas de concentración elevada de Cr en la laguna de Tampamachoco, según los valores encontrados en el presente trabajo.

Botello (2005) menciona valores de Cu en sedimentos de las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua de 17.49 mg/kg, 15.77 mg/kg y 10. 52 mg/kg respectivamente y los registrados por Zilli y Gagneten en 2005, en la propia laguna de Tampamachoco, con un valor de 9 mg/kg, López en 2012, reporta concentraciones de 4.38 mg/kg.

El Cd es el metal pesado que se localiza en altas concentraciones tanto en concha y tejido en *N. reclinata*, en la laguna de Tampamachoco, alcanza concentraciones promedio de 1.33 mg/kg en tejido y 0.645 mg/kg en concha (Tabla I), ambas rebasando la normatividad oficial NOM-001- ECOL-1996, que establece LMP de 0.5 mg/kg. En los últimos años los estudios referentes al Cd han mostrado una alta concentración y esto es motivo de preocupación por los efectos ecológicos y en la salud que esto representa, Botello (1994) reporta una concentración media de 1.10 mg/kg de Cd de las lagunas de Llano, Veracruz, Galaviz (2003) reporta una concentración media de 5.86 mg/kg de Cd de la laguna de La Mancha, Guzmán-Amaya .et al, (2005) informaron de concentraciones medias de 2.94 y 4.61 mg/kg de Cd de las lagunas de Mandinga y Alvarado. Las concentraciones de Cd encontradas en las lagunas costeras antes mencionadas, se deben principalmente a las contribuciones de la esorrentía. En comparación con las lagunas antes mencionadas, las concentraciones medias de Cd de la Laguna de Tamiahua eran más altas. Las causas probables de estas concentraciones son: a) La descarga de aguas residuales domésticas y municipales de efluentes que

contienen materia orgánica, pesticidas, fertilizantes, detergentes y metales (Cuevas *et al.*, 2006), b) Alto nivel de la actividad agrícola en las zonas alrededor de la laguna que practica el monocultivo, requiere grandes cantidades de agroquímicos, además este cuerpo de agua y los manglares que le circundan, los esteros de Tumulco y Jácome, forman un sistema lagunar-estuario con una área de influencia de 29 000 hectáreas. (Altieri, 1996) particularmente el uso de fertilizantes de fosfato que contienen Cd que se aplica comúnmente a maíz, frijol, chiles verdes y los cultivos de naranja en la región y, finalmente, se filtran en el suelo y son transportados a las lagunas de la escorrentía, c) La ingestión y acumulación de Cd en los gasterópodos es una función de condiciones de exposición, los factores fisiológicos, reproducción y excreción; factores que también son variables. Por lo tanto, las interpretaciones de los mecanismos puede ser complicado por estos y otros factores que intervienen durante la exposición y toxicokinesis (Rodríguez de la Rúa *et al.*, 2005).

Debido a los procesos antes descritos, la concentración de Cd en el agua en las lagunas costeras de México supera el LMP de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAT 1996). En lagunas como ésta y similares, que generalmente tienen agua salobre, la biodisponibilidad de Cd es el resultado de los continuos cambios de salinidad lo que determina la concentración de este metal en los animales sésiles, tales como *N. reclinata* (Palacios-Fest y Manuel R 2003). En el presente estudio, las concentraciones de cadmio en las muestras del gasterópodo fueron relativamente altas. En comparación con otros estudios, los tejidos en el presente mostraron mayores concentraciones medias de Cd que en los de concha.

En La Laguna de Tampamachoco se han realizado estudios de metales pesados como los reporta Mendoza (2010), donde analiza las concentraciones en *F. aztecus*, encontrando un valor promedio anual de 1.36 mg/kg de Cd, López (2012) reporta Cd en *E. plumieri* en concentraciones promedio anual de 6.65 mg/kg en piel, 2.35 mg/kg en músculo, 0.71 mg/ kg en branquias y 3.18 mg/kg en hígado, todos los resultados muestran concentraciones que rebasan el LMP que establece la norma oficial mexicana, lo que nos permiten ultimar que la laguna de Tampamachoco, presenta altas

concentraciones de Cd, lo que puede llevar a desatar grandes problemas en la salud humana.

VIII.- CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

La laguna de Tampamachoco presenta un comportamiento fisicoquímico estacional, la temperatura influye en la concentración salina y es en época de secas cuando se concentra la salinidad, los valores de oxígeno disuelto también se ven influenciados por la temperatura. Los cambios de salinidad se ven influidos por la entrada de agua marina y dulce, sobre todo la dulce en época de lluvias, disminuyendo considerablemente la salinidad, en base a los registros alcanzados se considera a la laguna de tipo estuarina. La laguna no muestra diferencia significativa en sus características fisicoquímicas, los valores máximos y mínimos son consecuencia de los aportes de agua del río y del mar y de los cambios estacionales, dado que en esta zona predominan épocas climáticas bien definidas, secas, lluvias y nortes.

El presente trabajo analizó al Cr, Cu, Pb, Hg y Cd, en tejido y concha de la especie *N. reclinata*, no se localizó en ninguna de las muestras al Hg y al Pb, en cambio el Cu y Cr si fueron detectados pero las concentraciones encontradas no fueron significativas de acuerdo a lo que establece la FDA y la FAO en sus LMP, el metal que rebasó los LMP fue el Cd, encontrando concentraciones de 1.33 mg/kg, cuando la NOM establece LMP de 0.5 mg /kg, lo que nos muestra que esta alta concentración de cadmio puede acarrear problemas ecotoxicológicos y repercutir de manera significativa en la salud humana, provocando desórdenes neurológicos y efectos teratogéerdonicos, mutagénicos y carcinogénicos.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de los metales analizados en los sitios de muestreo y en las variables fisicoquímicas consideradas, donde se encontró diferencias estadísticamente significativas fueron en las épocas climáticas para las variables fisicoquímicas estudiadas.

Los resultados preliminares sugieren que la química de conchas y tejidos de los gasterópodos puede ser una herramienta importante en la determinación del grado de contaminación de ciertos ecosistemas. Comparar las concentraciones de iones entre

épocas climáticas y los sitios de muestreo puede ser un factor representativo que proporciona un marco de referencia valioso para reconocer el impacto antropogénico y sugiere que los gasterópodos pueden ser usados como indicadores históricos de contaminación.

En relación al Cd se requiere un análisis más detallado para establecer su verdadero valor como indicadores de contaminación en las conchas de ostrácodos de la misma forma se requieren también de mayor atención para mejorar el conocimiento sobre su relevancia en reconstrucciones ambientales. La mayoría de los metales traza presentes en *N. reclinata* pueden ser empleados para reconstrucciones ambientales en el registro histórico.

La primera aplicación práctica de la presente investigación, puede ser un antecedente para muchos más trabajos que se pueden desarrollar en esta Laguna de Tampamachoco, Veracruz o cualquier otro ecosistema con características comunes, recomendando se realicen de forma más continua, e incrementar los metales y por supuesto los puntos de análisis, realizar posteriores estudios considerando más variables que nos permitan establecer nuevos conocimientos; otra aplicación práctica es considerar a los bioindicadores, como recursos que nos ayudan a monitorear los índices de contaminación de estos iones y estar más al pendiente de las concentraciones que muestra estos metales, esto nos permitirá conocer la salud de cualquier ecosistema como lo es en este caso La Laguna de Tampamachoco del norte del estado de Veracruz, de la misma forma al detectar una alta concentración de algún metal, nos indicará en tiempo y forma, poder prevenir y corregir dichas fuentes de contaminación.

Este es un trabajo más que muestra las limitaciones que presenta la normatividad mexicana y pueden ser un aviso a las autoridades correspondientes para poder desarrollar e implementar normatividades que indique las concentraciones normales o permisibles de metales en cualquier ecosistema; debido a que en nuestro país México se carece a la fecha de normas oficiales específicas. Finalmente puede este trabajo alertar a las autoridades sobre las concentraciones de cadmio que rebasan los límites máximos permisibles en La laguna de Tampamachoco y estar en tiempo y forma de

atender esta problemática, mediante la aplicación de acciones que prevengan, alerten y corrijan a las actividades que estén permitiendo se vierta este ion al cuerpo de agua y así mismo evitar futuras enfermedades a causa y efecto del las concentraciones de cadmio.

IX.- BIBLIOGRAFÍA

- Abascal, F. J., J. Cosson y C. Fauvel. 2007. Characterization of sperm motility in sea bass: the effect of heavy metals and physicochemical variables on sperm motility. *Journal of Fish Biology* 70:509-522.
- Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior y G. Martínez. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia* 27(12):686-690.
- ATSDR. 1999. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Reseña Toxicológica del Mercurio. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 661 pp.
- ATSDR. 2004. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Cobre. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 262 pp.. 79
- ATSDR. 2007. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Plomo. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 523 pp.
- ATSDR. 2008a. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Reseña Toxicológica del Cromo. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 616 pp.
- ATSDR. 2008b. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Cadmio. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública, 449 pp.
- Barrera E., G., Arrera, G.E., S.F. Sobrino, X.G. Guzmán. F. G. Hernández, F.V. Saavedra E I. CH. Wong, 1994. Evaluación de la calidad sanitaria de la zona costera de Veracruz: lagunas de Pueblo Viejo, Tamiahua y Tampamachoco.
- Barrera E., G., 2006. Toxicidad de cromo y cadmio en ostión *crassostrea virginica* de la laguna de Mandinga, Veracruz. Tesis Doctoral. UAM- Iztapalapa. 229 p.
- Botello A.V., E. Hicks, E. F. Mandelli, 1976. Estudios preliminares sobre los niveles de algunos contaminantes en la laguna de Términos, Camp., México. Simposio sobre adelantos en las investigaciones marinas en el Caribe y regiones adyacentes. Caracas 12-16 de Julio, 1976 . FAO, pp. 267-280.
- Botello, A.V. y F. Páez-Osuna, 1986. La contaminación. El problema crucial. Centro de Ecodesarrollo, Vol. I, México, pp. 62-85.
- Botello, A.V., S. Villanueva y F. Páez- Osuna, 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la laguna del Ostión, Ver., México. *Contam. Ambient.* 4:19-31.

- Botello, A.V. 1995. Contaminación por hidrocarburos y metales pesados. P 27-29; 215-230. *En*: A. Botello (Responsable) Evaluación Geoquímica Ambiental y Diagnóstico de la zona costera de Veracruz: Lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Tampamachoco. Informe final de Proyecto de investigación CONACYT 3232-T9308. 45 p.
- Botello, A.V., S. F. Villanueva y L. H. Rosales. 2004. Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México. pp. 683-712. *En*: Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra. 2004. (Eds). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Publicado por Instituto Nacional de Ecología, pp. 681-710.
- Cabrera M., I., 1981. Evaluación de metales pesados en cuatro lagunas del Golfo de México en las que se realiza exploración ostrícola. Tesis Profesional. Fac. Cienc. UNAM. 48 p.
- Cárdenas L., P. S., Pérez H., M. A. y Mebdez B., I., 1997. Determinación de metales pesados en dos especies ícticas dominantes de la laguna de Tampamachoco, Veracruz. Res. V Congr. Nal. De Ictiol. 122.
- Carrillo, L., E. Palacios-Hernández., M.Yescas., A.M. Ramírez_Mamguilar. 2009. Spatial and seasonal Patterns of Salinity in a Large and Shallow Tropical Estuary of the Western Caribbean. *Estuaries and Coasts* (32):906-916p.
- Cloern, J. E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210:223-253
- CONABIO. 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 71 p.
- Contreras, F. 1983. Biótica, variaciones en la hidrología y concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpan, Tampamachoco, Veracruz México. pp. 201-213.
- Contreras, E. F. 1985. Las Lagunas Costeras Mexicanas. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. 2ª Ed. México. pp.263
- Contreras E.F. y Gutiérrez, F.M. 1990. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costeras. *En*: de la Rosa-Vélez, J. y F. González-Arias. (Eds). Temas de Oceanografía Biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada. pp. 57-78.
- Day, J.W., Ch.A.S. Hall, W.M. Kemp y A. Yañez-Arancibia. 1989. *Estuarine Ecology*. John Wiley & Sons, New York, 558 pp.
- Devlin, T. 2004. *Bioquímica*, 4ª edición. Reverté, Barcelona. Réverte. 1248p. ISBN 84-291-7208-4.
- Dickson, T.R. 1999. *Química y enfoque ecológico*. Editorial Limusa, México.
- Elliot, M. y D.N. de Jonge. 2002. The management of nutrients and potential eutrophication in estuaries and others restricted water bodies. *Hydrobiologia*, 475/476:513-524.

- FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación). 1983. Compilation of legal limit for hazardous substances in fish and fishery products. FIRI/C764, Rome, FAO Fisheries Circular No. 764: 10-100.
- FAO, 1983. Manual de métodos de investigación del medio ambiente acuática. Documentos técnicos de pesca, nº 212. Parte 9. Análisis de presencia de metales y organoclorados en peces.
- FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos de EUA), 1993. Guidance documents for trace elements in seafood. Guidance documents for arsenic, cadmium, chromium, nickel (January), lead, (August).
- Gamboa Maribet, R. R. & Arrivillaga J. 2008. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. Boletín de malariología y salud ambiental Vol. XLVIII, Nº 2, Agosto-Diciembre
- García, E. (1971) An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México. Los climas del Estado de Veracruz (según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por la autora). Ser. Botánica, 41 (1): 342.
- INEGI. 2001. Tuxpan. Estado de Veracruz. Cuaderno Estadístico Municipal. Gobierno del Estado de Veracruz e Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 180 p.
- Jeon, M., H. Fujita., M. Sasaki. 2004. Heavy metals in aqueous solutions. *Applied Microbiology and Biotechnology*. (32): 399-400p.
- Kennish, M. J. 2000. Estuary restoration and maintenance. The National Estuary Program. CRC Press, Boca Raton, Florida, 359 pp
- Linnik, M. y I. Zubenko. 2000. Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy metal compounds, *Lakes & Reservoirs Research and Management* 5:11-21.
- López J. A. 2012. Determinación de algunos metales pesados en *Mugil curema* Valenciennes, 1836 y sedimentos de La Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectrofotometría de absorción atómica. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma Hidalgo.
- López O. M. 2012. Determinación de algunos metales pesados en *Eugerres 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.
- Luna J.M., J. Rendón-von O., L. Alpuche. 2002. Presencia de plomo en agua y ostión en las lagunas de Alvarado y la Mancha. p. 145-154. In: La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo. Instituto Nacional de la Pesca y Universidad Veracruzana.
- Mendoza D. F. 2010. Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Universidad Veracruzana, FCByA, campus-Tuxpan, Veracruz.

- Nixon S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41: 199-219.
- NOM- 001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados Frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.
- NOM-117-SSA1-1994. Método de prueba para la determinación de cadmio, cromo, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, mercurio y zinc en alimentos, agua potable y agua purificada. Por absorción atómica. Secretaria de salud. Diario Oficial, 29 de Junio de 1995.
- Odum, Eugene 1986. Fundamentos de Ecología. Ed. CECSA. México. 472p.
- Palacios-Fest Manuel R., Lisa E. Park, Jordi González-Porta, Martha R. Palacios-Fest y George R. Dix. 2003. "Química de conchas de ostrácodos: una alternativa para medir la contaminación por metales en sistemas acuáticos" *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 20, núm. 2, p. 139-153
- Ponce, V.G. 1995. Evaluación de los niveles de metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Prieto, M.J., González, R. C.A., Román, G. A.D y Prieto, G.F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* Vol. 10, Num.1, pp. 29-44. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Quintana y Molina J., 1981. Estudio preliminar de las poblaciones bentónicas de la laguna Tampamachoco, Ver., México. *Mem. VII Simp. Latinoamér. Oceanogr. Biol.* 423-442.
- Rainbow, P. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Mar. Poll. Bull.* 31 (4-12): 183-192.
- Ramirez, P., Barrera, G., Rosas, C., 1989, Effects of chromium and cadmium upon respiration and survival of *Callinectes similes*: *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 43, 850-857.
- Ramírez, M.W. 1999. Diseño de un modelo de saneamiento de suelos contaminados con metales pesados derivados de la explotación minera. Tesis Profesional, Maestría en Ingeniería de Proyectos, Universidad de Guadalajara, México.
- Reguero R., M., y A. García-Cubas, 1990. Estructura de la comunidad malacológica en el sistema lagunar Alvarado-Buen País. México. *Res. II Congr. Cienc. del Mar.* 126

- Reguero R., M., A. García Cubas y G. Zúñiga, 1991. Moluscos de la laguna Tampamachoco, Veracruz, México: Sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM* 18 (2): 289-328.
- Reguero R., M., 1994. Estructura de la comunidad de moluscos en lagunas costeras de Veracruz y Tabasco, México. Tesis doctoral. Fac. de Cienc. UNAM. 280 p.
- Rodríguez H., E. Sánchez- Alejo., M. Rodríguez-Sánchez., J. A. Vidales-Contreras K. Acuña-Askar., G Martínez Turrazas., y J.C. Rodríguez-Ortiz. 2005. Metales Pesados en leche cruda de bovino. *Revista Salud Pública y Nutrición. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey. México.* (6-04).
- Rico H., J. E., 1989. Estudio preliminar de algunos parámetros poblacionales del Gasterópodo *Neritina virgínea* en el sistema laguna de Alvarado, Ver. *Mem. XIII Simp. Biol. De Campo.* 38 p.
- Rodríguez-Serrano M. Martínez-De la casa. Romero- Puertas N. M.C. del Rio L. y Sandali L. 2008. Toxicidad del cadmio en plantas. *Ecosistemas* 17 (3): 139.146.
- Saha, M., A. Cobelo-García, S.K. Sarkar, R. Prego, B. Bhattacharya.2006. Distribution of Metals in Representative Biota of Sundarban Mangrove Wetland, Northeast India. *Bulletín Environmental Contamination and Toxicology, India,* **76**: 656-662.
- Shrivastava, P., A. Saxena y A. Swarup. 2003. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M.P.) India, *Lakes and Reservoirs: Research and Monagement*8:1-4.
- Tovilla H., C., G. de la Lanza E. y J. Roldan, 1987. Analisis cuantitativo de las poblaciones de moluscos asociadas a *Ruppia marítima* en el sistema lagunar de Alvarado, Ver., México. *Res. VII Congr. Nal. Oceanogr.* Pag.17.
- Ureña-Robles R. 2007. Metalotioneídas en peces y gasterópodos: su aplicación en la evaluación de la contaminación. Cap.4 Estudios en el gasterópodo *Melanopsis dufouri*. Universitat de Valencia, Servei de Publicacions. España. Pp.125-187.
- Villanueva, F. S. y A.V. Botello. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano. Una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 8(1):47-61.
- Wright J. 2003. *Environmental Chemistry: Heavy metals and pollution of the lithosphere.* Ed. Taylor & Francis e-Library, Usa and Canadá. 409 pp.

X.- ANEXOS



Figura 23. Laguna de Tampamachoco, Veracruz, visita preliminar al sitio de estudio y determinación de puntos de análisis.



Figura 24. Identificación y localización de la especie *N. reclinata*, en los diferentes sitios de muestreo, en la laguna de Tampamachoco Veracruz.



Figura 25. Trabajo de digestión de tejido y concha respectivamente de *N. reclinata* y preparación de muestras para enviar a los laboratorios de análisis.



Figura 26. Laboratorio Mensuranda S.A de C.V._donde se analizaron las muestras mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.