



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
Campus TUXPAN



Maestría en Ciencias del Ambiente

**Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr)
en agua y sedimentos de la zona estuarina
del río Tuxpan, Veracruz**

TESIS

Que para obtener el Título de:

MAESTRA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

P R E S E N T A:

Patricia Guadalupe Macías Hernández

DIRECTOR:

Dra. María Alejandra López Jiménez

CO-DIRECTOR:

Dra. Marisela López Ortega



Tuxpan, Veracruz

2015



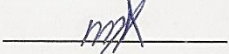
Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE



Revisión del trabajo de intervención de la alumna: Patricia Guadalupe Macías Hernández

Nombre	Fecha	Fecha	Dictamen	Firma
<u>Eduardo de Zaza Maza</u>	<u>3/03/15</u>	_____	<u>Aprobada</u>	
<u>Carlos González Gándara</u>	<u>03/03/15</u>	_____	<u>Aprobado</u>	
<u>Maribel Ortiz Domínguez</u>	<u>3/III/15</u>	_____	<u>Aprobado</u>	

En la presente revisión se acordó que el trabajo de intervención denominado "Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz" que presenta la sustentante para obtener el Título de Maestra, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

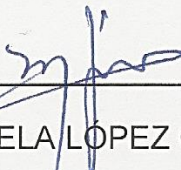
El presente Trabajo de intervención titulado: “**Determinación de metales pesados (Pb, Cd y Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz**” realizada por la C. I.A. Patricia Guadalupe Macías Hernández, bajo la dirección de la DRA. MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ JIMÉNEZ y asesoría del consejo particular de la DRA. MARISELA LÓPEZ ORTEGA, ha sido revisado y aprobado como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE



DRA. MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ JIMÉNEZ

DIRECTORA



DRA. MARISELA LÓPEZ ORTEGA

CODIRECTORA

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver. enero 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mi familia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo para realizar este posgrado.

A la Universidad Veracruzana, campus Tuxpan, por el apoyo académico para superarme y poder realizar este proyecto en sus instalaciones.

Con cariño y admiración a mis directoras de tesis, Dra. Alejandra López Jiménez y Dra. Marisela López Ortega, por su orientación, apoyo y ánimo.

A los miembros de la comisión lectora, Dra. Maribel Ortiz D., Dr. Carlos González Gándara y al Dr. Eduardo Zarza Meza, por su colaboración y observaciones para mejorar este trabajo.

A mis amigos.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	
Páginas	
I.-Introducción	1
II.- Antecedentes	4
2.1 Contaminación ambiental	4
2.2 Generalidades de los metales pesados	4
2.3 Propiedades principales de algunos metales pesados	6
2.4 Efecto de los metales pesados sobre la salud	7
2.5 Efectos de los metales pesados en el ambiente	8
2.6 Metales pesados en agua y sedimentos	9
2.7 Cinética de los metales pesados	10
2.8 Estudios de metales pesados	11
III.- Objetivos	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos	14
IV.- Área de estudio	15
V.- Materiales y métodos	16
5.1 Trabajo de campo	16
5.2 Trabajo de laboratorio	17
5.2.1 Preparación de muestras	17
5.3 Trabajo de gabinete	18
VI.- Resultados	19
6.1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de sedimentos	19
6.1.1 Temperatura	19
6.1.2 Conductividad eléctrica	20
6.1.3 Salinidad	20
6.1.4 pH	21
6.2 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de agua	22
6.2.1 Temperatura	22

6.2.2 Conductividad eléctrica	22
6.2.3 Salinidad	23
6.2.4 pH	24
6.3 Metales pesados en sedimento	25
6.3.1 Concentración de Cd en sedimento	25
6.3.2 Concentración de Cr en sedimentos	26
6.3.3 Concentración de Pb en sedimentos	27
6.3.4 Análisis estadístico metales pesados en sedimento	28
6.4 Metales pesados en agua	30
6.4.1 Concentración de Cd en agua	30
6.4.2 Concentración de Cr en agua	31
6.4.3 Concentración de Pb en agua	32
6.4.4 Análisis estadístico metales pesados en agua	33
VII.- Discusión	35
VIII.- Conclusiones	41
IX.- Aplicaciones	42
X.- Bibliografía	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Sitios de muestreo	15
Cuadro 2 Concentración promedio de cd mg/kg en sedimento	25
Cuadro 3 Concentración promedio de Cr mg/kg	26
Cuadro 4 Concentración promedio de Pb mg/kg	27
Cuadro 5 Análisis de correlación Spearman de metales pesados en sedimento	28
Cuadro 6 Porcentaje de la variación acumulada en los primeros tres componentes	28
Cuadro 7 Coeficiente de cada variable en los dos primeros componentes principales (sedimento)	29
Cuadro 8 Concentración promedio de Cd mg/l en agua	30
Cuadro 9 Concentración promedio de Cr mg/l	31
Cuadro 10 Concentración promedio de Pb mg/l	32
Cuadro 11 Análisis de correlación Spearman de metales pesados en agua	33
Cuadro 12 Porcentaje de la variación acumulada en los primeros tres componentes	33
Cuadro 13 Coeficiente de cada variable en los dos primeros componentes principales (agua)	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Localización de la zona estuarina del río Tuxpan	15
Figura 2	Temperatura en sedimentos del río Tuxpan por temporadas climáticas	19
Figura 3	Conductividad eléctrica en sedimentos por temporada climática	20
Figura 4	Salinidad en sedimentos por temporada climática	21
Figura 5	pH en sedimentos por temporada climática	21
Figura 6	Temperatura en agua por temporada climática	22
Figura 7	Conductividad eléctrica promedio en agua por temporada climática	23
Figura 8	Salinidad promedio en agua por temporada climática	23
Figura 9	pH en agua por temporada climática	24
Figura 10	Concentración promedio de Cd mg/kg por temporada climática	25
Figura 11	Concentración promedio de Cr mg/kg por temporada climática	26
Figura 12	Concentración promedio de Pb mg/kg por temporada climática	27
Figura 13	Agrupaciones entre variables en sedimento	29
Figura 14	Concentración promedio de Cd mg/l por temporada climática	30
Figura 15	Concentración promedio de Cr mg/l por temporada climática	31
Figura 16	Concentración promedio de Pb mg/l por temporada climática	32
Figura 17	Agrupaciones entre variables del agua	34

Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz

Patricia Guadalupe Macías Hernández

Hoy en día el incremento industrial y de asentamientos humanos es irreversible, a causa de esto y más factores la contaminación ha aumentado; inclusive la originada por metales pesados. Tuxpan no es la excepción, en el puerto se encuentran empresas dedicadas a la construcción de plataformas marinas e instalaciones petroleras; es por esto que surgió la necesidad de estudiar la columna de agua y los sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, teniendo como objetivo determinar las concentraciones de metales pesados. Se realizaron muestreos de octubre de 2012 a septiembre de 2013. Se tomaron lecturas de parámetros fisicoquímicos y se colectó sedimento y agua en los sitios de muestreo. Posteriormente las muestras se digirieron y se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica. Las concentraciones máximas en el sedimento fueron las siguientes: Cadmio: 14.00 mg/kg, Cromo: 15.20 mg/kg y Plomo: 40.70 mg/kg; y en el agua las concentraciones máximas se reportaron con los valores siguientes: Cadmio: 0.46 mg/L, Cromo: 0.29 mg/L y Plomo: 0.89 mg/L. En cuanto a las concentraciones mínimas en el sedimento fueron las siguientes: Cadmio: 0.03 mg/kg, Cromo: 0.08 mg/kg y Pb: 0.28 mg/kg; en el agua las concentraciones mínimas fueron de: Cadmio: 0.01 mg/L, Cromo: 0.01 mg/L y Plomo: 0.01 mg/L. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas. Los valores encontrados superan los límites máximos permisibles, por lo que se puede argumentar que la zona estuarina del río Tuxpan se encuentra en riesgo de contaminación debido a que los metales pesados en bajas concentraciones son tóxicos.

Palabras Clave: Contaminación, espectrofotometría de absorción atómica, Tuxpan.

I.-INTRODUCCIÓN

En la actualidad se estima en más de un millón de sustancias diferentes las que son introducidas en las aguas naturales a través de los vertidos antropogénicos (Förstner *et al.*, 1993). Muchas de ellas no son consideradas tóxicas, si bien pueden alterar las características organolépticas del agua, perturbar severamente el ecosistema y/o ser directamente nocivas para el hombre (Rosas-Rodríguez, 2001).

Las consecuencias que pueden llegar a tener estas contaminaciones pueden ser variadas y de distintas magnitudes, algunas pueden disminuir el buen hábitat del hombre en relación a dichas aguas y otras incluso pueden llegar a destruir comunidades acuáticas enteras (Valdés y Cabrera, 1999).

Los metales llegan a los cuerpos de agua a través de múltiples vías. Mientras que una fracción circula libremente por el agua de ríos, embalses y lagunas otra se retiene en suelos y sedimentos (Navarro y Sabater, 2004).

Los sedimentos en sistemas acuáticos, tanto de agua dulce como marina, son matrices complejas dinámicas compuestas de materia orgánica en diversos estados de descomposición, material particulado que varía en tamaño y composición química, así como material de origen biológico y antropogénico. Numerosos contaminantes están asociados a depósitos finos ricos en materia orgánica y la interacción entre los contaminantes en los depósitos, determinan su destino ambiental, biodisponibilidad y su toxicidad (Chen y White, 2004).

Este tipo de contaminantes han causado efectos nocivos en la biota que habitan los ecosistemas costeros y han repercutido en la salud pública, en este caso los metales pesados por su inclusión en la cadena alimenticia (Shrivastava *et al.*, 2003). Los metales pesados son elementos naturales de la corteza terrestre, rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua (Albert, 1991; Caso *et al.*, 2004). Existen cambios en sus concentraciones debido al uso extensivo en la industria y actividades humanas.

El estudio de la presencia de metales pesados en aguas de ríos y sedimentos, constituye un aporte a la disposición de información de carácter ambiental de determinado cuerpo de agua. Los metales pesados constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y a sus repercusiones fisiológicas tanto en los seres humanos como en animales, tal es el caso de las especies que el hombre consume como parte de su dieta (Contreras *et al.*, 2004).

Los ecosistemas costeros y estuarinos son sumamente frágiles y a lo largo del litoral del país han ido sufriendo transformaciones ocasionadas entre las lagunas y el mar por los vertimientos de los desechos municipales e industriales de las poblaciones colindantes; los cuales contienen diversos contaminantes entre los que destacan algunos metales como Hg, Cd, Pb y Cr. Actualmente la estimación de las concentraciones naturales y de los aportes antropogénicos de los metales pesados permite evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona. Para tal propósito es indispensable analizar tanto la columna de agua, como los sedimentos y los organismos (Villanueva y Botello, 1992).

Los metales que se encuentran disponibles en el agua de mar son bioacumulados a través de la cadena alimenticia, por eso es necesario establecer sistemas de vigilancia y monitoreo sobre todo en las lagunas costeras y estuarinas, ya que son el receptáculo más importante de los desechos líquidos antropogénicos (INGGO, 1980).

La contaminación por metales pesados está asociada usualmente con las descargas municipales, agrícolas e industriales que van directamente hacia los ríos y lagos de cuencas hidrológicas. Sin embargo, también se relacionan con la lixiviación de desechos inorgánicos, descargas sólidas de residuos peligrosos y basuras domésticas e industriales, que afecta a los cuerpos de agua.

Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros tales como As, Cd, Cu, Pb y Zn pueden atribuirse a la minería y son causa del fuerte impacto en el medio ambiente (Salomons, 1995). En cambio, otros metales no-sulfurosos como el Cr, Ni y Hg posiblemente indican una

contaminación antropogénica de metales pesados que están estrechamente asociados con las descargas industriales (Nelson y Lamothe, 1993).

Los estudios de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos (Rodríguez, 2001).

De manera general se considera que las aguas de desecho doméstico constituyen, la fuente más grande de metales en los ríos y lagos (Förstner y Wittmann, 1979). En Tuxpan el cambio de uso del suelo hacia actividades agropecuarias, urbanas e industriales es significativo (Basáñez-Muñoz *et al.*, 2008), también existe industria pesquera que emplea lanchas con motor fuera de borda, los cuales contribuyen con pequeñas cantidades diarias de desechos de combustible (Mendoza-Reynosa, 2010).

Los manglares y humedales de Tuxpan se localizan en la parte costera; esta zona está considerada como el último reservorio de vegetación costera original del municipio de Tuxpan (Basáñez-Muñoz *et al.*, 2008), estos proveen sitios de refugio, crianza, reproducción y alimentación para especies residentes y migratorias (Nagelkerken, 2009). Estos humedales se alimentan del Río Tuxpan que pertenece a la región hidrológica No. 27, Tuxpan-Nautla (CONAGUA, 2010). Para su conservación es necesario conocer los contaminantes presentes en el Río Tuxpan en sedimento y agua que pueden afectar a especies presentes en el río como *Albula vulpes*, *Centropomus parallelus* y *Mugil curema*, este último es un organismo iliógafo (se alimenta de sedimentos) (López-López *et al.*, 1991), además tiene gran valor de importancia en pesquerías, siendo un recurso de consumo humano (Mendoza-Reynosa, 2010). Por tal motivo, realizar un estudio donde se determine la concentración y disponibilidad de metales pesados en agua y sedimentos es relevante debido a la importancia ecológica y económica que este tiene.

II.- ANTECEDENTES

2.1 Contaminación ambiental

La toxicología ambiental siempre ha sido una preocupación para el humano y los efectos que ha tenido en la salud del mismo, la mayoría de los metales pesados han sido restringidos severamente. El medio ambiente siempre posee riesgos, pero a través de la historia humana, siempre se le ha dado el énfasis a la salud y los primeros esfuerzos de las agencias de salud pública fueron directamente contra las enfermedades. Los daños que han degradado al medio ambiente a través de las prácticas de la industria, consecuencias de sustancias tóxicas en las comidas, malas prácticas en la agricultura, efecto invernadero, deforestación, contaminación de suelos y ríos, entre otras han acelerado extinción de especies, mutación de otras tantas y por consiguiente daños a la salud. El riesgo no es fácilmente reducido ya que todos estos elementos se combinan y crean un medio ambiente aterrador lleno de químicos tóxicos desgraciadamente por efectos antropogénicos (Alejo, 2004).

Día con día la contaminación ambiental aumenta drásticamente como consecuencia del desarrollo urbano e industrial, los asentamientos humanos y las diversas actividades que el hombre desarrolla tanto en la tierra como en el mar. Dichas acciones influyen negativamente sobre los ríos, estuarios, lagunas y océanos ocasionando una seria contaminación afectando severamente a los organismos que ahí habitan (Botello y Páez-Osuna, 1986).

2.2 Generalidades de los metales pesados

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Otra definición más práctica, desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión” (Cornelis y

Nordberg, 2007). Son elementos que tienen pesos atómicos entre 63.546 y 299.590 con una gravedad específica mayor a 4.0 (Ramírez, 1999).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. Lo cual significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio.

Metales pesados más frecuentes en los suelos: Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni y Zn

Micronutrientes: As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se, Zn

Grupo tóxico: As, Hg, Cd, Zn, Pb, Tl, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, Sn

Los metales pesados, potencialmente tóxicos, pueden ser subdivididos en dos categorías:

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

2.3 Propiedades principales de algunos metales pesados.

Plomo: Proviene de fuentes naturales y antropogénicas. Puede ingresar al organismo por el agua, alimentos, tierra y polvillo desprendido de viejas pinturas que contienen plomo. Es maleable, dúctil y se le puede dar forma con facilidad. Asimismo, es uno de los metales no ferrosos que más se recicla. Se le emplea en aleaciones, baterías, compuestos y pigmentos, revestimiento para cables, proyectiles y municiones. La exposición puede tener diversos efectos en humanos. Los niveles altos de exposición pueden afectar la síntesis de hemoglobina, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones y el sistema nervioso (Duffus, 2002).

Cadmio: Es un micronutriente esencial para los humanos, animales y plantas. Sus propiedades tóxicas son similares a las del zinc, ya que proviene principalmente de la refinación del zinc. Es persistente en el ambiente y es absorbido por el organismo humano puede persistir por décadas antes de ser excretado. En humanos, la exposición prolongada se relaciona con la disfunción renal. También puede llevar a enfermedades pulmonares, se le ha relacionado con el cáncer de pulmón y puede provocar osteoporosis en humanos y animales. El ingreso medio diario, para humanos se estima en 0.15 µg proveniente del aire y 1 µg del agua (Duffus, 2002).

Cromo: Se usa en aleaciones y pigmentos para cemento, papel, pinturas, caucho y otras aplicaciones. Frecuentemente se acumula en ambientes acuáticos, por lo que existe cierto riesgo de ingerir pescado contaminado. Los bajos niveles de exposición pueden provocar irritación de la piel y úlceras, mientras que la exposición prolongada puede causar daños hepáticos y renales, al tejido nervioso y al sistema circulatorio (Duffus, 2002).

2.4 Efecto de los metales pesados sobre la salud

Cadmio

El cadmio es ampliamente distribuido en niveles muy bajos en el medio ambiente. Hasta donde se sabe se considera un metal no esencial para los humanos, plantas y animales. El cadmio se acumula principalmente en el hígado y riñón de los organismos y se tiene conocimiento que lesiona principalmente los mecanismos de regulación de los iones, más que afectar las funciones respiratorias nerviosas (Hellawell, 1989).

El cadmio es absorbido por el cuerpo humano lentamente, con un tiempo de vida medio estimado de 10-30 años.

Cromo

La toxicidad asociada con el cromo se debe principalmente a una exposición industrial a los compuestos de cromo hexavalente. Esta forma irrita la piel y la sensibiliza. Cuando los trabajadores en la producción de cromatos y de pigmentos con cromo se exponen a concentraciones de 0.1 mg/m³ en el aire, pueden desarrollar cierta incidencia de cáncer en la piel.

La estimación diaria de ingreso de cromo en humanos es de 0.03 a 0.1 mg/persona/día. El cromo trivalente es esencial para los seres humanos y se requiere de tal elemento para tener un balance normal en el metabolismo del colesterol, la insulina y la homeostasis de la glucosa. La deficiencia de cromo está asociada con el decremento a la tolerancia a la glucosa, en algunas formas de diabetes y en decesos cardiovasculares (Páez-Osuna, 2005).

Plomo

El plomo ingresa al organismo principalmente por vía respiratoria y gastrointestinal. Una vez en el torrente sanguíneo, se acumula dentro de los glóbulos rojos, donde interfiere en la síntesis del grupo hemo, ocasionando anemia. Luego de aproximadamente un mes, se redistribuye a diferentes órganos y tejidos, generando

alteraciones en el sistema nervioso, hematopoyético, cardiovascular, reproductivo y renal. Finalmente, se deposita en tejidos duros como huesos, uñas y dientes, donde puede permanecer acumulado durante toda la vida. Cabe destacar que el plomo es teratógeno, porque atraviesa con facilidad la barrera placentaria, encontrándose concentraciones comparables del metal en la sangre de la madre y del recién nacido (Fontana *et al.*, 2013)

2.5 Efectos de los metales pesados en el ambiente

Los efectos de los metales pesados son bastante graves contaminan el agua y los cultivos. En los cuales si hay presencia de una cantidad excesiva de plomo se pueden producir algunas alteraciones en las plantas, también degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad. A nivel de los ríos y lagos, también afecta principalmente la fauna.

- 1.- Los metales pesados entran en la cadena alimenticia y se acumulan en los tejidos grasos de los organismos vivos incluyendo al ser humano.
- 2.- Son altamente tóxicos.
- 3.- Se evaporan y viajan grandes distancias en el aire y en el agua lo que hace más difícil controlar y determinar las áreas contaminadas con precisión.
- 4.- Son persistentes, es decir, duran varios años o décadas antes de degradarse a formas menos dañinas (Yarto, 2005).

Altos niveles de metales pesados pueden causar también efectos en plantas, como pérdidas en las cosechas y eventualmente llevar a la muerte de las plantas (Rai *et al.*, 1981).

2.6 Metales pesados en agua y sedimentos

Los sedimentos son un componente ecológicamente importante en el hábitat acuático, es un reservorio natural de contaminación (Chapman, 1989). La presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, ya sea en aguas continentales o en aguas marinas, es un hecho constatado a nivel mundial, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. La existencia de estos sedimentos es debido tanto a los vertidos incontrolados desde industrias como a la utilización de productos químicos tales como los pesticidas que van a parar a los sedimentos una vez que son transportados desde zonas agrícolas por las aguas. En otros casos, éstos son debido a los vertidos "controlados" tales como emisores submarinos que vierten aguas residuales principalmente domésticas, aunque en aquellas zonas donde no existe separación de tratamiento y "conducción", se mezclan las aguas residuales industriales con las domésticas, aumentando la carga contaminante y el nivel de toxicidad (Jiménez, 2001).

La presencia de elementos metálicos en sistemas acuáticos fluviales y costeros se origina por las interacciones del agua con los sedimentos y la atmósfera con la que está en contacto, produciéndose fluctuaciones en las concentraciones en el agua, como resultado de las fuerzas hidrodinámicas naturales, biológicas y químicas (Rainbow, 1995).

Los ríos tropicales son fuentes importantes de metales pesados para el ambiente marino costero (Shumilin *et al.*, 2005), numerosas investigaciones han demostrado que varios productos químicos en el río y las aguas marinas inmovilizan, matan e inhiben el crecimiento, o reducen la reproducción de los organismos acuáticos (Murano *et al.*, 2007).

Los efectos en los sistemas acuáticos de los metales pesados, su biodisponibilidad y toxicidad están estrechamente relacionados con la distribución de las especies en las fases sólida y líquida de las masas de agua. Por ejemplo, la liberación de metales pesados de los sedimentos promueve, un déficit de oxígeno disuelto, una disminución en el pH y potencial redox (Eh), un aumento en la mineralización y en

la concentración de materia orgánica disuelta (DOM) (Linnik y Zubenko, 2000). Este fenómeno es uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático (Mandelli, 1979).

2.7 Cinética de los metales pesados

La minería en México produce grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos que constituyen una fuente potencial de contaminación. En las zonas mineras, la principal fuente de contaminación es la formación de drenaje ácido de minas (AMD), que desempeña un papel importante en la solubilización, transporte y liberación de metales al ambiente. El drenaje ácido de minas también puede promover la disminución del pH de los cuerpos de agua y las alteraciones de Eh (potencial de óxido-reducción y conductividad) (Arcega-Cabrera *et al.*, 2005).

Una vez en la interface sedimento-agua o en la columna de agua, los metales son más propensos a transportar y entrar a la red alimentaria. Atchinson *et al.* (1977) han demostrado que los sedimentos contienen toxinas que pueden acumularse en peces a través de la red alimentaria o directamente de la exposición debida a los sedimentos re-suspendidos. Una gran cantidad de metales pesados tóxicos como Cd, Pb y Hg ocurre naturalmente en el agua de mar o agua de lago (Barlas *et al.*, 2005).

Entre los factores que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales pesados, está el pH. La mayoría de los metales son insolubles a pH neutros o básicos y tienden a estar más disponibles a pH ácido. El pH tiene un importante efecto sobre la materia orgánica. Es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos, con fuerte tendencia a ser absorbidos, disminuyendo su disponibilidad en el agua. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. Si el pH es elevado entonces puede bajar la toxicidad metálica por precipitación como carbonatos e hidróxidos (Botello *et al.*, 2004).

El agua del mar tiene un alto contenido de iones Cl^- además de iones HCO_3^- y CO_2^- que determinan la salinidad, son los responsables de la estabilidad de pH, los cuales participan en el secuestro directo o por acomplejamiento de los metales, por esta razón la potencia de un contaminante ha sido inversamente relacionada con la cantidad de sales existentes en el medio. La salinidad modifica la captación de los metales pesados, bajas salinidades, incrementan su disponibilidad y la incorporación debido a los cambios en la especiación química del metal, por los efectos del mismo en los mecanismos de regulación iónica en el organismo al bajar la salinidad (Rainbow *et al.*, 1993).

2.8 Estudios de metales pesados

Contreras *et al.* (2004) realizaron una investigación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina en Santo Domingo, encontrando Hierro y Cobre en las aguas de dicho río, en el caso de los sedimentos se encontró la presencia de todos los metales investigados. En el agua los niveles de concentración estaban dentro de los estándares nacionales y los niveles de concentración en sedimento más altos resultaron ser los de Cromo, Plomo, Hierro, Níquel y Cobre.

En 1989 se determinaron metales en sedimentos superficiales marinos de la región fronteriza de Baja California. Se analizaron los contenidos de carbono orgánico total, arcilla, limo y arena en los sedimentos y su correlación con los metales examinados. Los resultados indican mayores concentraciones ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco) de Al (7493), Mn (78.8), Cr (24.2), Zn (16.5), Cu (6.2), Cd (0.29) y Ag (0.30). Se destaca además, la posible influencia de fenómenos de productividad y contaminación como otros procesos que pueden controlar la distribución y origen de los metales en el área de estudio, particularmente Cd y Ag (Galindo *et al.*, 1994).

Gómez *et al.* (2004), realizaron un estudio de calidad del agua superficial del río San Pedro durante los años 1997 y 1999, desde su origen cerca de la ciudad de Cananea, Sonora, México hasta el límite con Estados Unidos de América. Analizaron el pH, la conductividad eléctrica, los sulfatos y metales pesados Cd, Co,

Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn. Observaron la presencia de valores elevados de algunos metales pesados, conductividad eléctrica y sulfatos; así como valores bajos de pH, en las estaciones de muestreo más cercanas a la explotación minera. Dichos valores fueron superiores a los máximos permitidos establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua. Consideran como fuente de contaminación la explotación minera y las descargas de aguas negras sin tratamiento.

En el 2001 se realizó un estudio de metales pesados en sedimentos de la bahía de Chetumal, Quintana Roo y la acumulación en el músculo de bagres (*Ariopsis assimilis*), reportando que el Zn y el V fueron metales más biodisponibles en dos épocas del año (seca y lluvia) y el Fe menos disponible tanto en sedimentos como en los organismos. Se encontró que los principales metales contaminantes fueron el Hg y el Pb para los sedimentos, atribuyéndose su origen a las descargas de aguas residuales y al aporte de residuos agroquímico provenientes del río Hondo. (González *et al.*, 2008).

En el 2002, en las costas del Estado de Yucatán se realizaron colectas de organismos y muestras de sedimento. El objetivo de este trabajo fue evaluar la concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en los sedimentos de los sitios donde se localizan organismos de pepino de mar *Astichopus multifidus*, *Isostichopus badionotus*, *Holoturia floridana*. Dando como resultado que los sedimentos presentaron concentraciones mayores de Cr, Cu y Pb. Tanto las concentraciones de metales pesados en sedimentos como las encontradas en los pepinos de mar se encuentran en los intervalos de las concentraciones halladas en sedimentos sin perturbaciones por contaminación (Medina *et al.*, 2004).

López-Jiménez (2012) realizó un trabajo en la laguna de Tampachoco ubicada en el municipio de Tuxpan Veracruz, durante el periodo enero 2009 a marzo 2010 para analizar la concentración de seis metales pesados en sedimentos, en tejidos y órganos de *Mugil curema* (Lebrancha). En sedimentos se registraron valores de Pb, Cr, Ba y Cu, superiores a los límites permisibles de 0.2 y 0.5 mg/kg. No se detectaron Cd y Hg en los sedimentos. En tejidos se registraron valores de 0.5 mg/kg rebasando los límites permisibles, 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.

López-Ortega (2012) realizó un estudio en cuatro sitios de la Laguna de Tampamachoco, de enero 2009 a febrero 2010, para determinar la concentración de metales pesados en agua y en tejidos de *Eugerres plumieri* con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Se encontró Cr, Cu, y Ba en agua, superando los límites máximos permisibles por los CECA mientras que en tejidos y órganos, Pb y Cd se superaron los límites máximos de la NOM-242-SSA-I-2009, los resultados indican que la Laguna de Tampachoco presenta contaminación por metales pesados.

Entonces por la tendencia a bioacumularse, es importante determinar las cantidades de estos metales (CSIC, 2002). En este trabajo se tiene como objetivo determinar las concentraciones de metales pesados en el agua y sedimento, como las causas principales de perturbación ambiental incluyen la temperatura elevada, pH elevado o reducido (Raz-Guzmán, 2000) y el efecto combinado de factores fisicoquímicos tienen gran influencia sobre el grado de toxicidad (De la Lanza *et al.*, 2000), es importante relacionar los parámetros fisicoquímicos con las concentraciones encontradas en el agua y sedimentos de la zona estuarina del Río Tuxpan.

III.- OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar las concentraciones de metales pesados (Pb, Cr y Cd) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, relacionándolos con las variables fisicoquímicas.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar las variables fisicoquímicas (Temperatura, pH, Salinidad y Conductividad Eléctrica) de agua y sedimentos de la zona estuarina del Río Tuxpan.
- Determinar la concentración de Pb, Cd y Cr en agua y sedimentos de la zona estuarina del río.
- Asociar las variables fisicoquímicas con la disponibilidad del Pb, Cd y Cr, en agua y sedimentos presentes en la zona estuarina del río Tuxpan.
- Valorar las diferencias significativas de los metales pesados en las temporadas climáticas del año.

IV.- ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Tuxpan se ubica entre los 20°40'00" y 21°06'00"N y entre los: 97°10'00" y 97°40'00"W e incluye varios ecosistemas acuáticos costeros, entre ellos el Río Tuxpan (Gándara *et al.*, 2012) que se ubica en el centro de la vertiente del Golfo de México, tiene una superficie de 27,461 km² y desemboca en el Golfo de México (Mendoza-Reynosa, 2010). El área de estudio fue la zona urbana del municipio de Tuxpan Veracruz (Figura 1), que corresponde a la zona estuarina del río, siendo un recorrido aproximado de 14 kilómetros, estableciéndose siete sitios de muestreo (Cuadro 1).

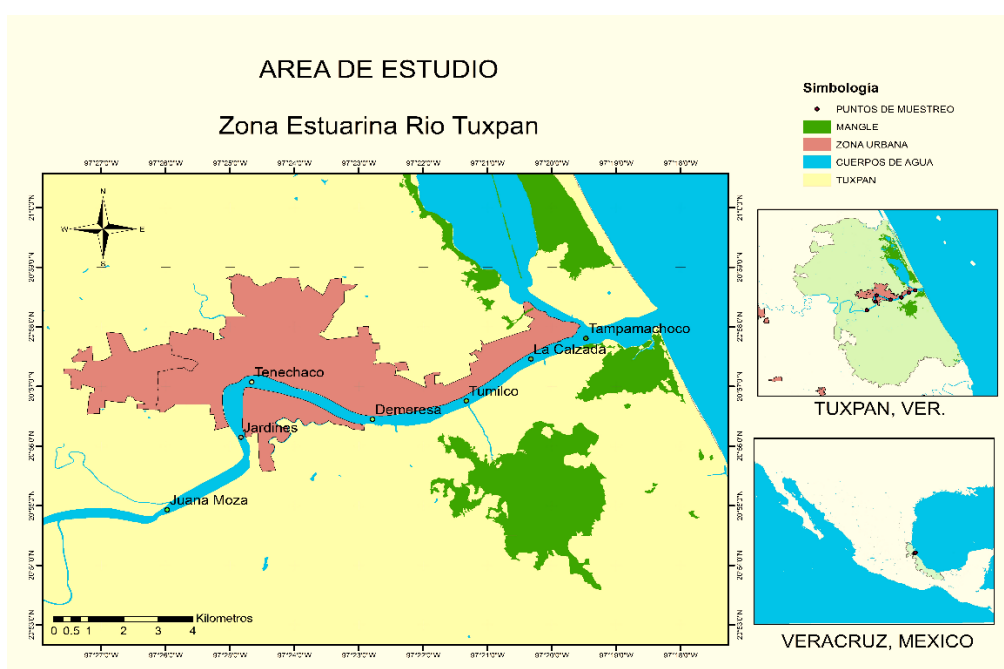


Figura. 2 Localización de la zona estuarina del Río Tuxpan

Cuadro 2 Sitios de muestreo

Sitios de muestreo	Longitud W	Latitud N
1.- Tampamachoco	97°25'25.902"	20°54'54.990"
2.- La calzada	97°20'37.04"	20°57'17.22"
3.- Tumilco	97°21'21.05"	20°56'45.13"
4.- Demerresa	97°23'2.86"	20°56'28.52"
5.- Tenechaco	97°24'37.44"	20°57'6.22"
6.- Jardines	97°24'50.02"	20°56'6.97"
7.- Juana moza	97°19'34.62"	20°58'03.48"

V.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Trabajo de campo

Se realizaron muestreos mensuales en la zona estuarina del Río Tuxpan, de octubre de 2012 a septiembre de 2013, cubriendo las temporadas de nortes, secas y lluvias. Se marcó una distancia de catorce kilómetros, iniciando en el estuario de Tampamachoco y finalizando en la comunidad de Juana moza. Estableciéndose siete sitios de muestreo cada dos kilómetros: 1: Tampamachoco, 2: La calzada, 3: Tumilco, 4: Demeresa, 5: Tenechaco, 6: Jardines 7: Juana moza. Los muestreos se llevaron a cabo en una lancha menor, con un motor fuera de borda con 35 caballos de fuerza.

En cada uno de los sitios se realizaron la toma de parámetros fisicoquímicos mediante un multiparametro marca YSI modelo 556 MPS con el cual se obtuvieron los valores de temperatura (°C), conductividad eléctrica (mS/cm), salinidad (UPS) y pH, se realizaron tres lecturas y se obtuvo un promedio

Se colectaron muestras de 1000 ml de agua en cada sitio de muestreo en frascos de polietileno previamente lavados con agua, después con una mezcla de HNO₃ al 5% y con agua destilada. Antes de tomar la muestra, el frasco correspondiente se enjuagó tres veces con el agua del sitio. Se dispuso a la toma de la muestra sumergiendo el frasco, posteriormente se acidificó con 10 ml de ácido nítrico para fijar la muestra y realizar el análisis. La muestra se analizó de acuerdo a los lineamientos establecidos por la NMX-AA-003-1980.

Las muestras de sedimentos se colectaron con una draga Van Veen de cuatro litros de capacidad., se tomaron 300 g de muestra en cada uno de los sitios establecidos. La muestra se etiquetó con los siguientes datos: número de muestra y fecha. El sedimento se colocó en una bolsa de plástico, para su traslado al laboratorio.

5.2 Trabajo de laboratorio

5.2.1 Preparación de muestras

Método de secado y digestión de sedimento: Los sedimentos se extendieron y se dejaron secar sobre bolsas de nylon a temperatura ambiente. Una vez secas las muestras se molieron, etiquetaron y guardaron en bolsas zyploc. Posteriormente se pesó 1 g de sedimento en una balanza analítica, se depositaron en un matraz Kjhendal y se agregaron 10 ml de HNO₃ concentrado. Se realizaron 3 réplicas y a una de ellas se le adicionaron 100 µl del estándar multielemento High Purity Std, se elaboró un blanco al cual se le adicionó 10 ml de HNO₃ y un blanco referenciado con 10 ml de ácido y 100 µl del estándar multielemento. Para realizar la digestión de muestras se utilizó un equipo micro Kjhendal, hasta obtener una apariencia clara, posteriormente se filtraron y aforaron en matraces de 50 ml con disolución de ácido nítrico al 5% y fueron almacenados en frascos de polietileno.

Método de digestión del agua: En el laboratorio se agregaron 500 ml de cada muestra de agua en vasos de precipitado y se le adicionaron 50 ml de ácido nítrico concentrado, posteriormente se llevaron a ebullición con la ayuda de una parrilla eléctrica.

Las muestras se hicieron por triplicado, se filtraron con papel Whatman #40 y se aforaron a 50 ml, a una de las muestra se le adicionaron 100 µl del estándar multielemento High Purity Std. Aparte se elaboró un blanco (agua marina) y un blanco referenciado con 100 µl de estándar multielemento.

Finalmente se determinaron los metales pesados en agua y sedimentos en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC HG3000 Avanta, usando flama de aire-acetileno. El análisis de los metales se determinó de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-117-SSA1-1994.

5.3 Trabajo de gabinete

Con los resultados obtenidos de las lecturas de los metales pesados (Pb, Cr y Cd), se realizaron análisis estadísticos, de acuerdo con la distribución de los datos se procedió hacer pruebas paramétricas o no paramétricas.

Se realizó un análisis de Kruskal Wallis para conocer si existen diferencias significativas en las temporadas climáticas de los sedimentos, el agua, y de los metales pesados.

Para finalizar se realizó una correlación para determinar relación entre parámetros fisicoquímicos y metales pesados en el sedimento y el agua. También se realizó un análisis de componentes principales para conocer las variables que explican el mayor porcentaje de la variabilidad acumulada estos análisis se realizaron con ayuda del programa SPSS 19.

VI.- RESULTADOS

6.1 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de sedimentos

6.1.1 Temperatura

En nortes se registraron valores de temperatura que oscilaron de 20.52 a 24.96 °C y con un promedio de 23.77°C; en secas fue de 21.67 a 26.91°C y con un promedio de 24.48°C y en la temporada de lluvias fue de 25.93 a 30.26°C con un promedio de 27.27°C, siendo esta temporada la que registró los mayores valores (Figura 2). El análisis de Kruskal- Wallis, dió a conocer que la temperatura por temporadas climáticas presento diferencias estadísticamente significativas ($H=63.8258$, $p= 1.38 \cdot 10^{-14}$).

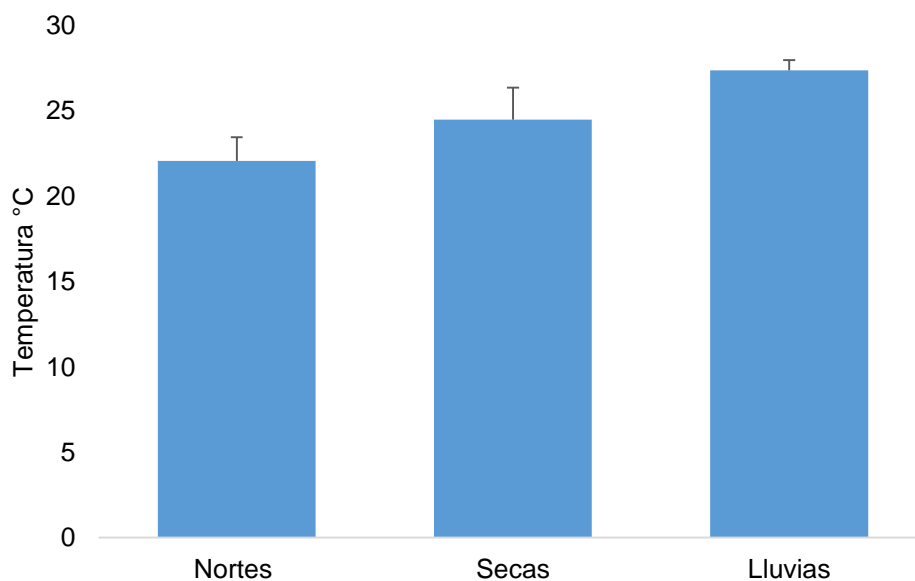


Figura 2 Temperatura en sedimentos del Río Tuxpan por temporadas climáticas

6.1.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica registró valores de 0.06 a 12.66mS/cm y con un promedio de 2.74 mS/cm en la temporada de nortes; en la temporada de secas se presentó de 0.1 a 7.23 mS/cm con un promedio de 2.32 mS/cm y en la temporada de lluvias los valores oscilaron entre 0.08 y 20.49 mS/cm con un valor promedio de 3.76 mS/cm (Figura 3). La conductividad no presentó diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas ($H=1.2541$, $p= 0.5342$).

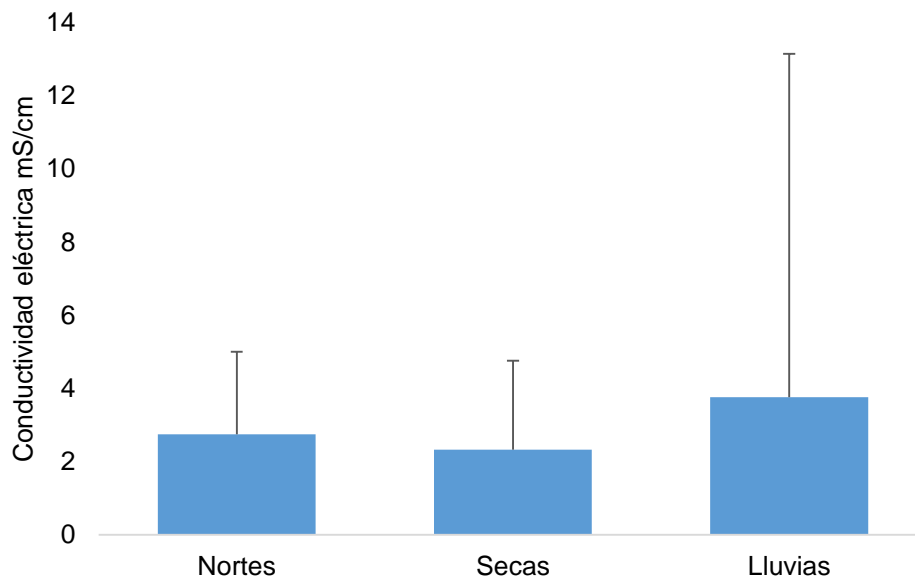


Figura 3 Conductividad eléctrica en sedimentos por temporada climática

6.1.3 Salinidad

Los valores registrados de salinidad en la temporada de nortes oscilaron de 1.28 a 5.81 UPS, con un valor promedio de 3.25 UPS; en la temporada de secas fue de 1.78 a 11.55 UPS con un valor promedio de 4.45 UPS y finalmente en la temporada de lluvias fue de 1.23 a 7.88 UPS con un valor promedio de 2.64 UPS (Figura 4). El análisis de Kruskal-Wallis determinó que la salinidad presentó diferencias significativas en las temporadas climáticas ($H=1.8722$, $p= 0.0001$).

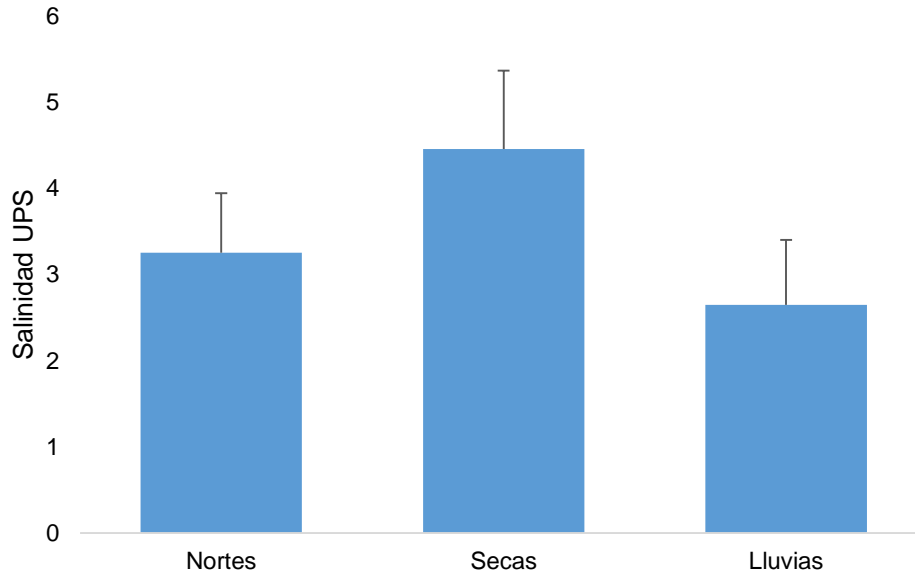


Figura 4 Salinidad en sedimentos por temporada climática

6.1.4 pH

El pH en la temporada de nortes presentó valores de 6.24 a 8.59 y un valor promedio de 7.55; en la temporada de secas fue de 6.24 a 8.99 y un valor promedio de 7.83; en lluvias los valores oscilaron entre 6.34 y 9.4, el valor promedio fue de 7.94 (Figura 5). El pH no presentó diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas ($H=4.9269$, $p= 0.0851$).

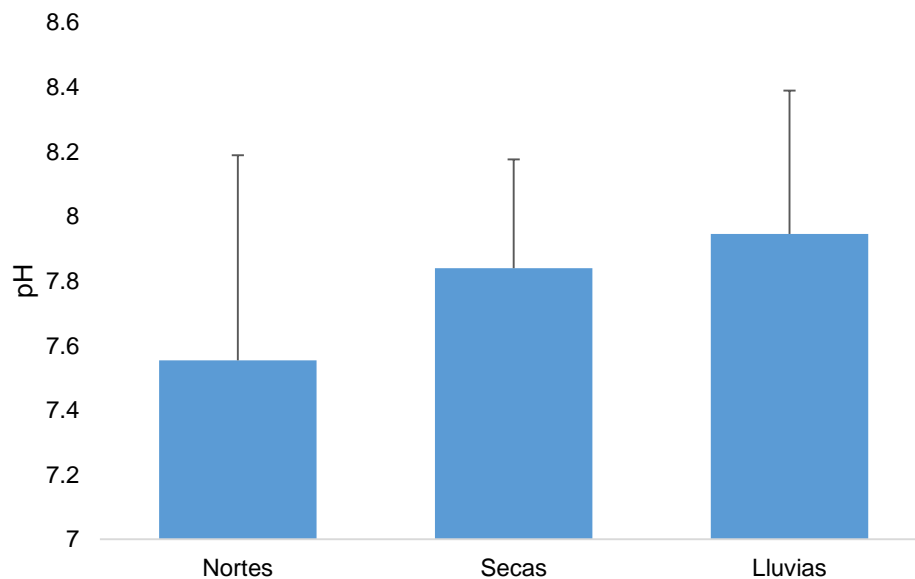


Figura 5 pH en sedimentos por temporada climática

6.2 Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos de agua

6.2.1 Temperatura

La temperatura en la temporada de nortes osciló entre 21.47 a 26.81 °C y con un promedio de 23.73°C, en la temporada de secas entre 25.03 y 27.49 °C con un promedio de 26.30 °C y en lluvias entre 23.65 y 28.15 °C con un valor promedio de 26.46 °C (Figura 6). En las temporadas climáticas la temperatura mostró diferencias estadísticamente significativas ($H=63.8258$, $p= 1.38^{-14}$).

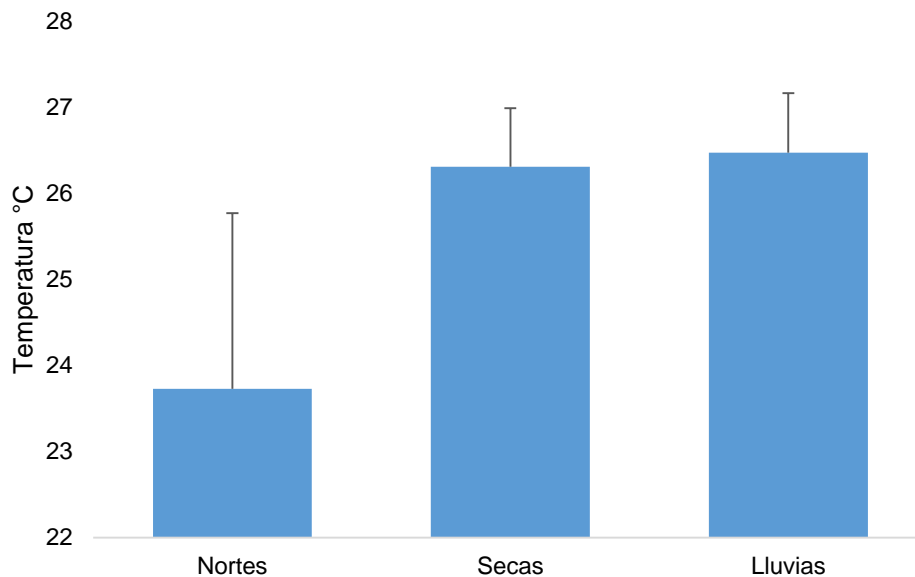


Figura 6 Temperatura en agua por temporada climática

6.2.2 Conductividad eléctrica

En la temporada de nortes se registraron valores de 30.03 a 53.42 mS/cm y un valor promedio de 47.95 mS/cm; en la temporada de secas se registraron valores de 47.88 a 53.99 mS/cm con valor promedio de 51.22 mS/cm; en la temporada de lluvias se presentaron valores de 8.29 a 52.66 mS/cm y un promedio de 43.20 mS/cm (Figura 7). En las temporadas climáticas la conductividad presentó diferencias significativas ($H= 21.514$, $p= 2.13^{-5}$).

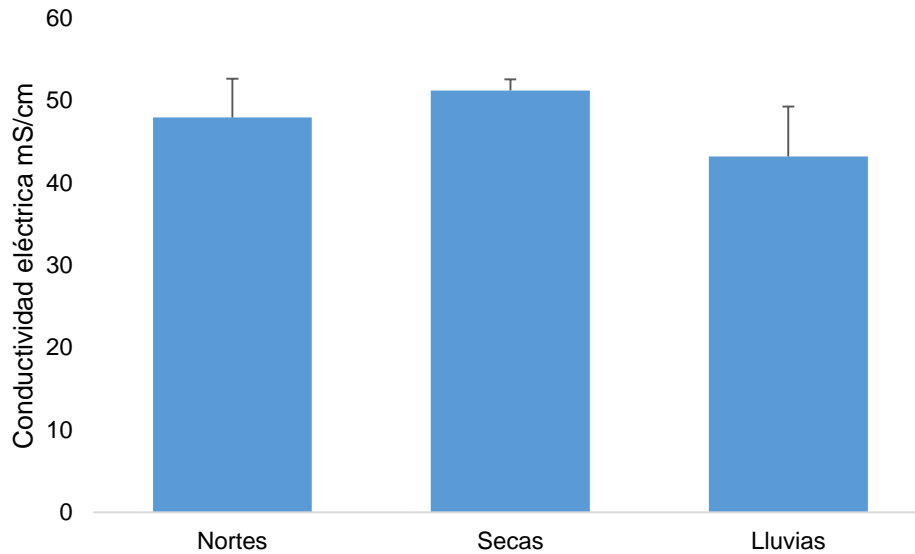


Figura 7 Conductividad eléctrica promedio en agua por temporada climática

6.2.3 Salinidad

Los valores registrados en la temporada de nortes osciló entre 9.82 a 23.72 UPS y valor promedio de 17.97 UPS; en secas los valores fueron de 18.47 a 28.81 UPS y en lluvias los valores fueron de 11.86 a 21.12 UPS con un valor promedio de 16.30 UPS (Figura 8). El análisis de Kruskal-Wallis determinó que la salinidad presentó diferencias estadísticamente significativas ($H=19.2798$, $p= 6.51^{-5}$).

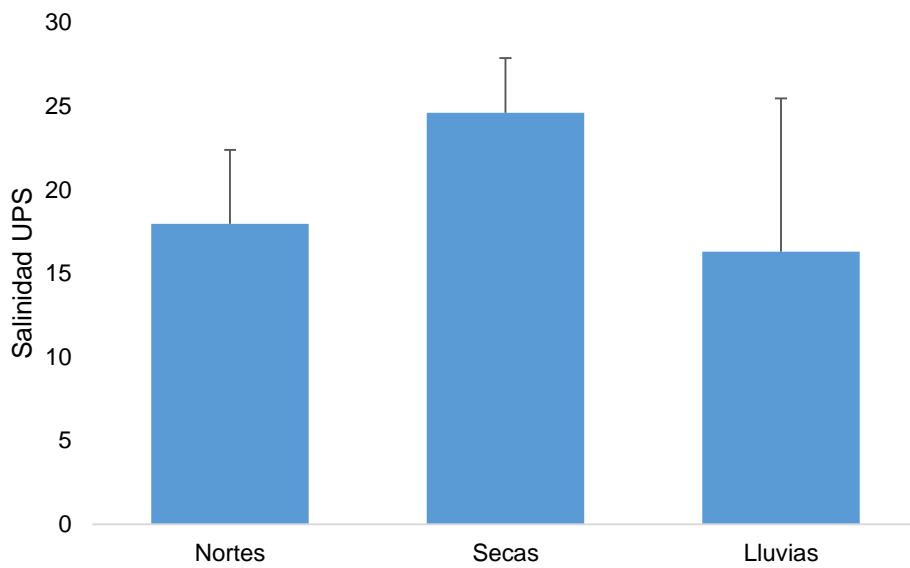


Figura 8 Salinidad promedio en agua por temporada climática

6.2.4 pH

En la temporada de nortes el pH osciló de 7.66 a 9.9 y presentó un promedio de 8.4; en secas los valores variaron de 8.01 a 9.92 registrando un promedio de 8.81; en la temporada de lluvias oscilaron de 7.80 a 9.05 a y con promedio de 8.64 (Figura 9). El análisis de Kruskal-Wallis determinó que el pH presentó diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas ($H=8.0403$, $p=0.0179$).

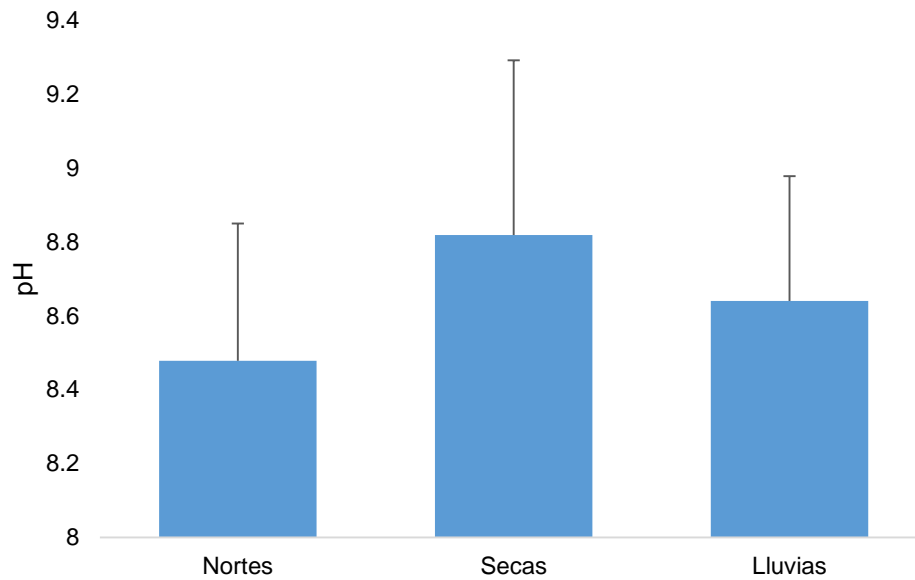


Figura 9 pH en agua por temporada climática

6.3 Metales pesados en sedimento

6.3.1 Concentración de Cd en sedimento

De los siete sitios muestreados, Tenechaco y Jardines superaron el LMP. (Cuadro 2). En temporadas climáticas los valores son más altos en la temporada de nortes y menores en lluvias. (Figura 10). El análisis de Kruskal-Wallis determinó que el cadmio presentó diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas ($H=11.8109$ $p=2.725^{-3}$).

Cuadro 2 Concentración promedio de Cd mg/kg en sedimento

Cd mg/kg	Tampamachoco	Calzada	Tumilco	Demerresa	Tenechaco	Jardines	Juana Moza
Enero	0.15	0.08	ND	ND	ND	ND	ND
Febrero	0.03	ND	0.03	ND	ND	0.08	ND
Marzo	1.85	1.43	0.05	ND	0.03	3.25	ND
Abril	ND	0.05	0.05	ND	ND	2.95	ND
Mayo	0.25	ND	ND	ND	ND	0.13	ND
Junio	0.20	ND	0.03	ND	ND	0.30	0.23
Julio	0.20	0.08	0.18	0.05	0.25	0.15	0.33
Agosto	0.20	0.08	0.18	0.05	0.05	0.15	0.20
Septiembre	0.23	0.30	0.25	0.28	0.25	0.20	0.20
Octubre	0.20	0.15	0.30	0.30	0.25	0.33	0.28
Noviembre	0.28	0.23	0.48	0.50	0.35	0.28	0.28
Diciembre	0.03	ND	ND	ND	ND	12.43	14.05

LMP 0.1- 0.2 mg/kg NOM-ECOL-001-1996 ND = No detectado

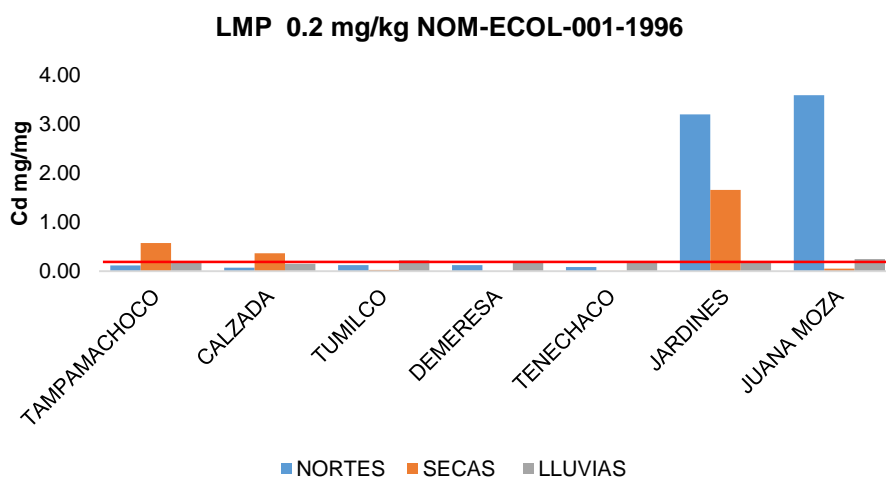


Figura 10 Concentración promedio de Cd mg/kg por temporada climática

6.3.2 Concentración de Cr en sedimentos

La concentración de Cr en los sedimentos del estuario del Río Tuxpan fue mayor en Tampamachoco y Tumilco mientras que la menor fue detectada en Juan Moza (Cuadro 3). La evaluación temporal indica que en la temporada de nortes, los valores son más altos y en secas los más bajos. Todos los valores de las concentraciones de Cr son superiores a los límites máximos permisibles (Figura 11). El análisis de Kruskal-Wallis determinó que el cromo presentó diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas ($H=27.4196$ $p=1.11^{-6}$).

Cuadro 3 Concentración promedio de Cr mg/kg

Cr mg/kg	Tampamachoco	Calzada	Tumilco	Demerresa	Tenechaco	Jardines	Juana moza
Enero	7.18	6.40	8.35	6.75	6.40	6.87	6.25
Febrero	3.10	6.45	6.00	6.40	5.70	6.17	6.37
Marzo	2.87	3.25	3.07	3.30	3.82	6.52	1.60
Abril	3.88	1.83	3.63	2.43	1.25	1.03	0.08
Mayo	0.20	ND	ND	2.25	1.35	1.55	ND
Junio	15.20	5.63	5.93	5.20	3.98	5.43	5.83
Julio	4.35	1.65	3.68	0.43	3.95	2.95	3.73
Agosto	3.13	0.58	1.55	0.13	0.53	ND	ND
Septiembre	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Octubre	12.90	12.40	11.35	11.08	12.58	11.50	5.88
Noviembre	11.45	11.33	12.33	10.98	11.75	11.03	8.88
Diciembre	6.62	6.12	5.82	5.72	5.65	6.00	5.87

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

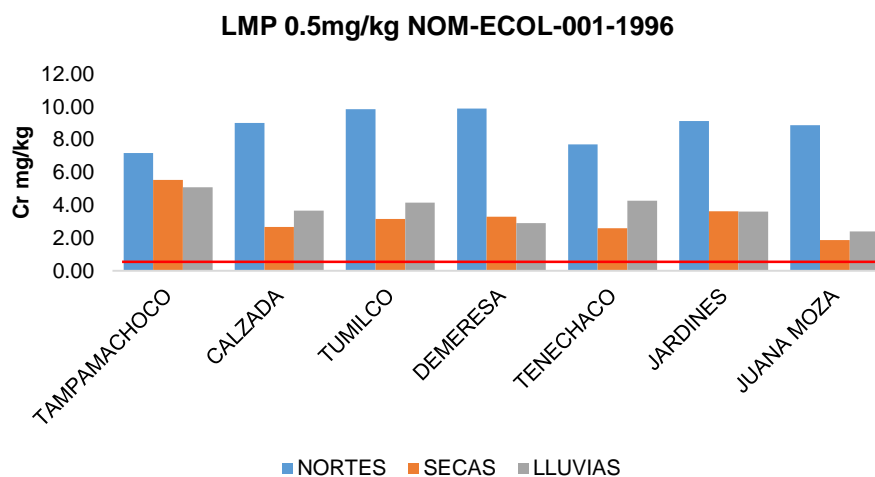


Figura 11 Concentración promedio de Cr mg/kg por temporada climática

6.3.3 Concentración de Pb en sedimentos

El plomo se registró mayormente en Demerresa, Tenechaco y Tampamachoco, sobrepasando los límites de la norma (Cuadro 4). Temporalmente, en nortes los valores fueron mayores y menores en lluvias. El análisis de Kruskal-Wallis determinó que el plomo presentó diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas ($H=39.1098$ $p= 3.22^{-9}$).

Cuadro 4 Concentración promedio de Pb mg/kg

Pb mg/kg	Tampamachoco	Calzada	Tumilco	Demerresa	Tenechaco	Jardines	Juana moza
Enero	17.48	3.45	9.00	13.93	23.43	12.05	40.70
Febrero	1.05	6.88	8.70	11.45	0.63	5.85	10.75
Marzo	ND	ND	ND	ND	ND	11.50	ND
Abril	ND	ND	ND	ND	ND	11.48	ND
Mayo	16.35	ND	ND	17.30	ND	0.28	ND
Junio	15.70	ND	ND	16.63	ND	ND	ND
Julio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Agosto	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Septiembre	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Octubre	5.05	4.68	6.98	8.28	8.98	11.18	8.95
Noviembre	9.35	9.13	12.00	13.38	12.08	13.05	13.40
Diciembre	7.00	11.88	12.73	15.48	7.00	12.43	14.05

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

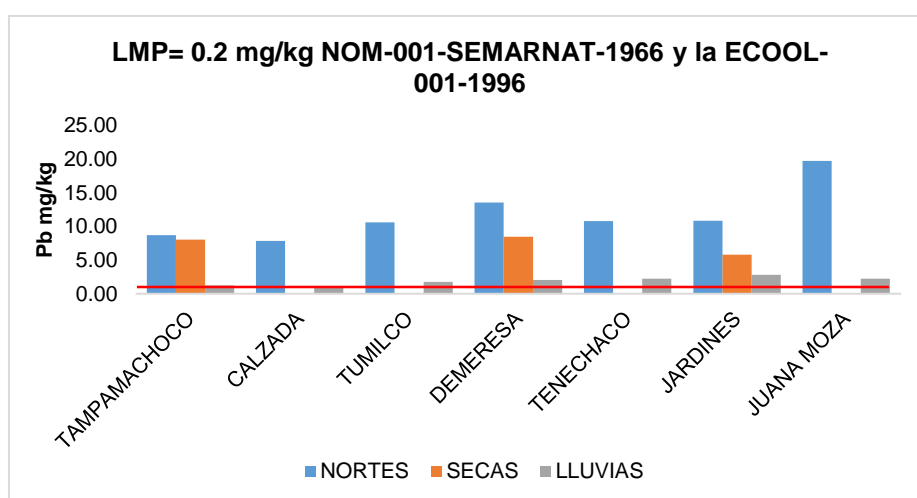


Figura 12 Concentración promedio de Pb mg/kg por temporada climática

6.3.4 Análisis estadístico Metales pesados en sedimento

Análisis de correlación Spearman

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de correlación Spearman de los metales pesados en sedimento se mostró una relación inversa entre el Cadmio y la conductividad eléctrica ($\rho = -0.237$, $p = 0.030$); entre el Plomo (Pb) y el pH ($\rho = -0.219$, $p = 0.045$) (Cuadro 5).

Cuadro 5 Análisis de correlación Spearman de metales pesados en sedimento

	Temperatura	Conductividad	Salinidad	pH	Cadmio	Cromo	Plomo
Temperatura	1.000						
Conductividad	.097	1.000					
Salinidad	.069	.482	1.000				
pH	.256	-.056	.045	1.000			
Cadmio	.339	-.237	-.038	-.035	1.000		
Cromo	-.461	-.101	-.087	-.159	.056	1.000	
Plomo	-.360	-.085	-.054	-.219	.139	.681	1.000

*Significancia 0.05

Análisis de componentes principales para sedimento

El análisis de componentes principales muestra que la variabilidad es explicada por los primeros tres componentes principales con un 68.50 % de la variabilidad total de los datos originales; CP1 explicó el 27.61%, CP2 el 24.02% y el CP3 el 16.87% (Cuadro 6).

Cuadro 6 Porcentaje de la variación acumulada en los primeros tres componentes

	CP1	CP2	CP3
Eigenvalores	1.93	1.68	1.18
Porcentaje	27.61	24.02	16.87
Acumulado	27.61	51.63	68.50

En la combinación del primer y segundo componente, los datos son separados en tres asociaciones; la primera agrupación corresponde a: Temperatura y pH; la segunda agrupación a: Salinidad y conductividad y en la tercera agrupación pertenecen: Plomo y Cromo.



Figura 13 Agrupaciones entre variables en sedimento

El primer componente está representado por la correlación que mantiene el Cromo en sedimentos y el Plomo en sedimentos. El segundo componente está relacionado con las variables, Conductividad eléctrica y la salinidad en sedimentos (Cuadro 7).

Cuadro 7 Coeficiente de cada variable en los dos primeros componentes principales (sedimento)

	CP1	CP2
Temperatura	-.367	.129
Conductividad	.011	.526
Salinidad	-.031	.507
pH	-.214	.051
Cadmio	.134	-.136
Cromo	.431	.057
Plomo	.380	.088

6.4 Metales pesados en agua

6.4.1 Concentración de Cd en agua

El Cadmio en agua, se registraron los valores más altos en Tampachoco y Juana Moza. (Cuadro 8). Temporalmente se registraron valores más altos en nortes siendo estos los que sobrepasaron los límites máximos permisibles (Figura 14). El cadmio presentó diferencias significativas en las temporadas climáticas ($H=43.6417$ $p= 3.34^{-10}$).

Cuadro 8 Concentración promedio de Cd mg/L en agua

Cd mg/L	Tampamachoco	Calzada	Tumilco	Demerresa	Tenechaco	Jardines	Juana moza
Enero	0.46	0.18	0.21	0.18	0.12	0.13	0.15
Febrero	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.03	0.05
Marzo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Abril	ND	0.01	0.02	0.06	0.02	0.01	0.03
Mayo	0.01	ND	ND	ND	0.01	ND	ND
Junio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Julio	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Agosto	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Septiembre	ND	ND	ND	ND	0.01	ND	ND
Octubre	ND	0.02	0.03	0.02	ND	0.05	0.21
Noviembre	0.13	0.16	0.16	0.15	0.23	0.15	0.12
Diciembre	0.12	0.07	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15

LMP 0.1 mg/L NOM-ECOL-001-1996

LMP 0.1 mg/L NOM-ECOL-001-1996)

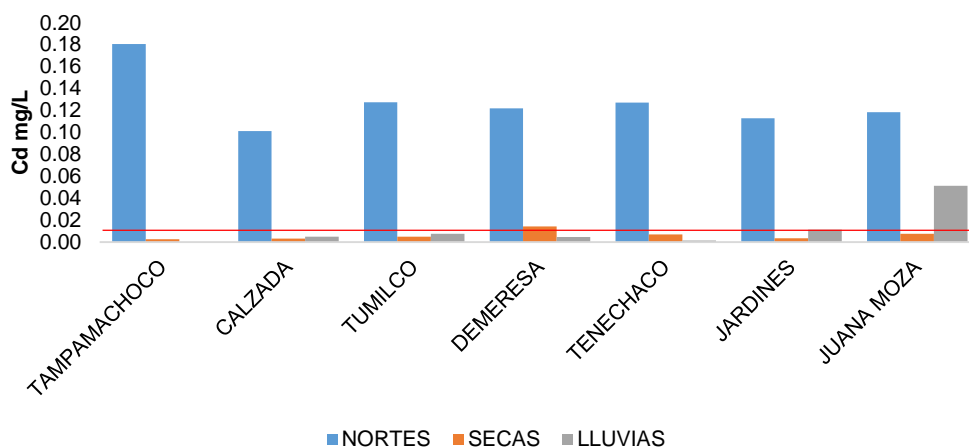


Figura 14 Concentración promedio de Cd mg/L por temporada climática

6.4.2 Concentración de Cr en agua

Las concentraciones registradas de cromo en el agua no sobrepasaron los límites máximos permisibles. (Cuadro 9). Considerando las temporadas climáticas, el cromo se registró mayormente en la temporada de lluvias, sin rebasar el límite de 0.5 mg/L (Figura 15). El cromo presentó diferencias significativas en las temporadas climáticas ($H=33.5974$ $p= 5.06^{-8}$).

Cuadro 9 Concentración promedio de Cr mg/L

Cr mg/L	Tampamachoco	Calzada	Tumilco	Demerresa	Tenechaco	Jardines	Juana moza
Enero	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Febrero	ND	0.29	ND	ND	ND	ND	0.01
Marzo	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND
Abril	ND	ND	ND	0.10	0.10	0.10	0.10
Mayo	ND	ND	ND	ND	ND	0.10	ND
Junio	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Julio	0.01	ND	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Agosto	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Septiembre	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02
Octubre	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Noviembre	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Diciembre	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

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

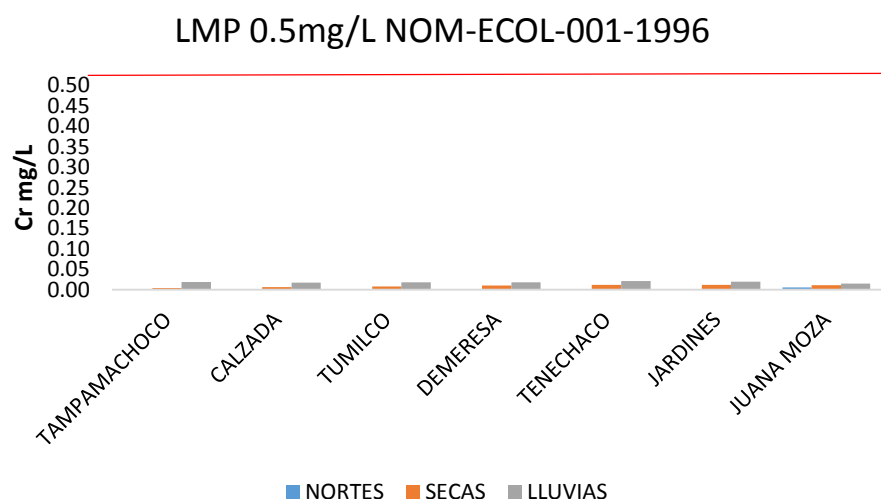


Figura 15 Concentración promedio de Cr mg/L por temporada climática

6.4.3 Concentración de Pb en agua

En el sitio de Tumilco se registraron los valores más altos de plomo en el agua de río Tuxpan (Cuadro 10). En las temporadas climáticas solo en la época de lluvias en Tumilco las concentraciones superaron la norma (Figura 16). El plomo presentó diferencias significativas en las temporadas climáticas ($H=16.6994$ $p= 2.37^{-4}$).

Cuadro 10 Concentración promedio de Pb mg/L

Pb mg/L	Tampamachoco	Calzada	Tumilco	Demerresa	Tenechaco	Jardines	Juana moza
Enero	0.13	0.13	0.13	0.05	0.10	0.09	0.18
Febrero	0.06	0.08	0.07	0.14	0.21	0.08	0.25
Marzo	0.15	0.10	0.12	0.09	0.09	0.19	0.08
Abril	0.16	0.15	0.07	0.19	0.13	0.22	0.24
Mayo	0.07	0.06	0.08	0.18	0.19	0.19	0.03
Junio	0.10	0.13	0.17	0.04	0.14	0.01	0.10
Julio	0.08	0.05	0.02	ND	0.06	0.06	0.06
Agosto	ND	0.01	0.08	0.06	0.04	0.05	0.03
Septiembre	0.09	0.12	0.50	0.08	0.05	0.01	0.01
Octubre	0.01	0.05	0.89	0.08	0.12	0.10	0.05
Noviembre	0.08	0.06	0.17	0.16	0.03	0.03	0.06
Diciembre	0.13	0.12	0.07	0.11	0.07	0.11	0.09

LMP= 0.2 mg/L NOM-001-SEMARNAT-1966 y la ECOOL-001-1996

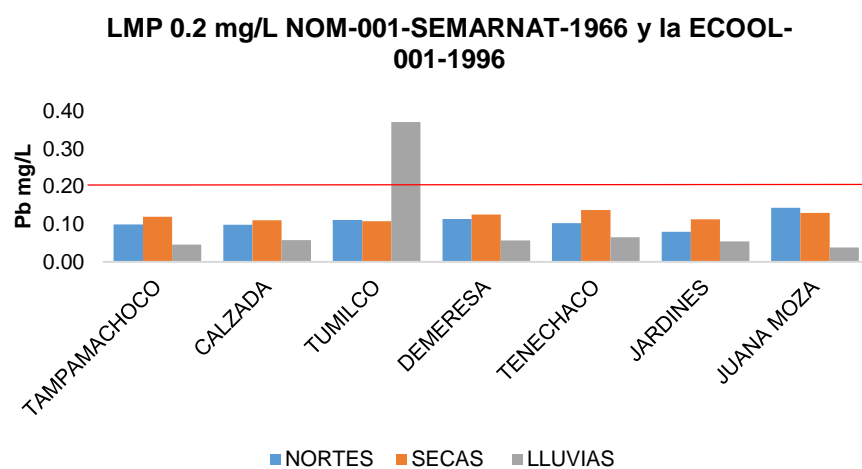


Figura 16 Concentración promedio de Pb mg/L por temporada climática

6.4.4 Análisis estadístico Metales pesados en agua

Análisis de correlación Spearman

De acuerdo con el análisis de correlación Spearman para metales pesados en agua se muestra una relación inversa entre el cadmio y la salinidad ($\rho = -0.260$, $p = 0.017$) (Cuadro 11).

Cuadro 11 Análisis de correlación Spearman de metales pesados en agua

	Temperatura	Conductividad	Salinidad	pH	Cadmio	Cromo	Plomo
Temperatura	1.000						
Conductividad	.148	1.000					
Salinidad	.089	.303	1.000				
pH	.429	.288	.099	1.000			
Cadmio	-.572	-.197	-.260	-.040	1.000		
Cromo	.449	.304	.119	.063	-.584	1.000	
Plomo	-.332	.169	.138	.001	.230	-.207	1.000

*Significancia 0.05

Análisis de componentes principales para agua

En el análisis realizado se puede observar que la variabilidad es explicada por los primeros tres componentes principales con un 68.17 % de la variabilidad total de los datos originales; CP1 explicó el 32.19%, CP2 explicó el 19.29% y el CP3 explicó el 16.67% (Cuadro 12).

Cuadro 12 Porcentaje de la variación acumulada en los primeros tres componentes

	CP1	CP2	CP3
Eigenvalores	2.25	1.35	1.16
Porcentaje	32.19	19.29	51.49
Acumulado	32.19	51.49	68.17

En la combinación del primer y segundo componente, los datos son separados en dos asociaciones; la primera agrupación corresponde a: Salinidad y Conductividad eléctrica; la segunda agrupación a: Cromo y Temperatura.

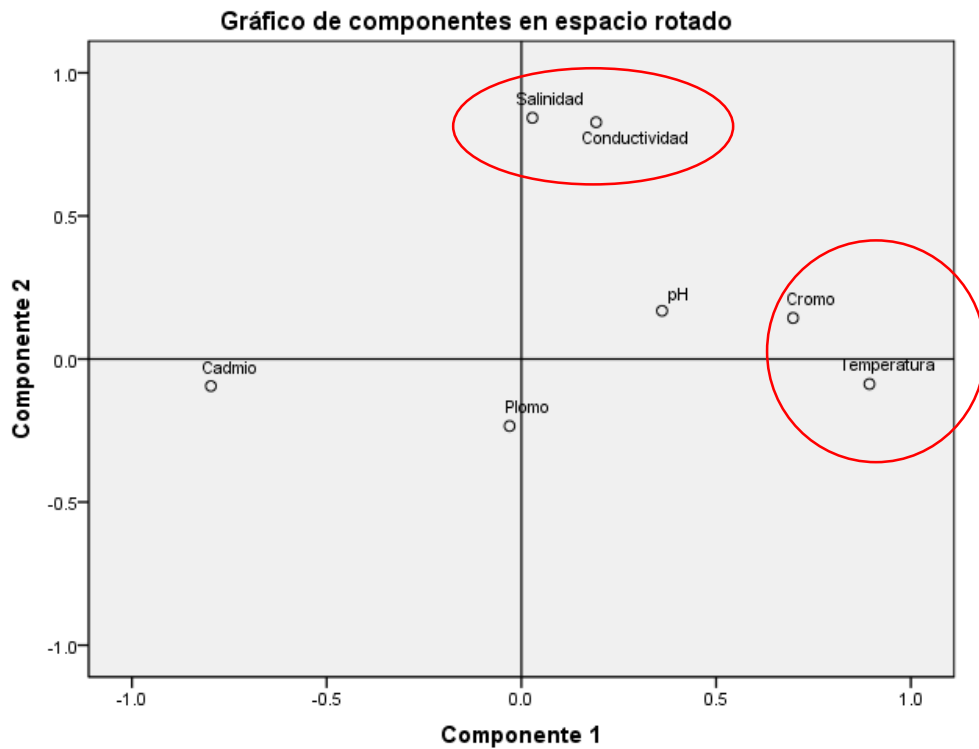


Figura 17 Agrupaciones entre variables del agua

El primer componente está representado por la correlación que mantiene la temperatura con el cromo. El segundo componente está relacionado con las variables, Conductividad eléctrica y la salinidad en agua (Cuadro 13).

Cuadro 13 Coeficiente de cada variable en los dos primeros componentes principales (agua)

	CP1	CP2
Temperatura	.455	-.162
Conductividad	.001	.546
Salinidad	-.082	.575
pH	.160	.074
Cadmio	-.386	.026
Cromo	.331	.019
Plomo	.012	-.157

VII.- DISCUSIÓN

En el presente estudio se registraron valores de parámetros fisicoquímicos en sedimento y en agua. Para los sedimentos de la zona estuarina del Río Tuxpan se registró una temperatura máxima de 30.26 °C y una mínima de 20.52 °C asimismo López-Jiménez (2010) para los sedimentos de la Laguna de Tampamachoco registró una temperatura máxima de 31.54 °C y una mínima de 17.4 °C, esto se debe a que en los estuarios tropicales la temperatura del agua es alta (24-30 °C) y que esta variación se atribuye a una combinación de calentamiento solar directa en la columna de agua (Eyre y Balls, 1999).

En este estudio la conductividad eléctrica obtenida presentó un valor máximo de 20.46 mS/cm y una mínima de 0.06 mS/cm, una salinidad máxima de 11.55 UPS y una mínima de 1.23 UPS, un valor pH máximo de 9.4 y un pH mínimo de 6.24, mientras que López-Jiménez (2012) reportó una conductividad eléctrica de máxima de 71.38 mS/cm y una mínima de 8.34 mS/cm, una salinidad máxima de 51.90 UPS y una mínima de 4.66 UPS y un pH máximo de 8.00, pH mínimo de 6.50 estas diferencias se presentan debido a los contrastes que existen en cuanto factores fisicoquímicos entre un río y una laguna se deben principalmente a las diferencias en profundidad, en su forma, en su capacidad de almacenaje y en la dinámica hidrológica (Mendoza-Reynosa, 2010).

En cuanto al comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua de la zona estuarina del Río Tuxpan la mayor temperatura se presentó en la época de lluvias con un valor de 28.15°C y la temperatura inferior se registró con un valor de 21.47 °C en la época de nortes, la conductividad eléctrica con un valor máximo de 53.99 mS/cm y un valor mínimo de 8.29 mS/cm, el estudio realizado por López-Ortega (2010) en la Laguna de Tampamachoco reportó una temperatura superior en la época de lluvias de 31.54 °C y una lectura mínima de 19.92 °C en la época de nortes y una conductividad eléctrica con un valor máximo de 53.9 mS/cm y valor mínimo de 1.9 mS/cm dichos valores tienen similitudes en los parámetros ya mencionados.

En trabajo actual, en las temporadas climáticas la salinidad presentó un valor máximo en la temporada de secas con un valor de 24.61 UPS y fue menor en la temporada de lluvias con un valor de 16.30 UPS, Mendoza (2010) registró la mayor concentración de salinidad en la temporada de secas con 34.79 UPS y en la temporada de lluvias la menor concentración con 5.45 UPS en la laguna de Tampachoco, Mendoza-Reynosa (2010) también realizó un estudio en el Río Tuxpan, los valores de salinidad oscilaron entre 26.00 UPS y 5.39 UPS, como menciona Boyd (2002) la salinidad promedio del agua de mar es de 34.5 ppm pero en el agua salobre varía de acuerdo a la salinidad de la fuente de agua, por lo tanto la salinidad en las aguas estuarinas puede ser similar a la del agua dulce durante la época de lluvia y aumentar durante la sequía.

El pH es un factor esencial, la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido (López-Ortega, 2012), el agua del Río Tuxpan en este trabajo se presentó una tendencia alcalina con un valor máximo de pH de 9.92 y un pH mínimo de 7.66 mientras, Galindo *et al.* (2005) realizaron un trabajo en el Río Cazones donde reportaron un pH de 7.5, dichos valores son alcalinos y si el pH es elevado entonces puede bajar la toxicidad metálica (Rojas, 2011).

Metales pesados en sedimentos y agua

Cadmio

Durante la época de nortes en el presente estudio, respecto al sedimento los valores superaron el límite máximo permisible por la NOM-ECOL-001-1996 presentando un valor promedio de 4.05 mg/kg, de acuerdo a ello Mendoza-Reynosa (2010) menciona que las concentraciones de este metal en agua y sedimento durante la primavera y el verano, son suficientes para que los tejidos de la lebrancha sean capaces de acumularlo.

Rosales y Carranza (2005) reportaron en sedimento un valor superior de 7.93 mg/kg y un valor mínimo de 0.30 mg/kg en el río Coatzacoalcos; Guzmán *et al.* (2005) presentó un valor máximo y mínimo para Mandinga de 0.89 mg/kg y 0.46 mg/kg al igual que para la Laguna de Tamiahua de 6.21 mg/kg y 1.86 mg/kg. En la laguna de Sontecomapan González-Fierro *et al.* (1994) registraron valores de 1.70 mg/kg. En las costas de Yucatán, Medina *et al.* (2004) reportaron valores entre 2.309 y 2.116 mg/kg, existen diversos factores que originan la presencia de metales pesados como el cadmio, el uso de pesticidas, fertilizantes, vertido de aguas residuales no tratadas y materia orgánica en suspensión (Mendoza, 2010). En los casos anteriores los valores sobrepasan los límites máximos permisibles, ya que al igual que en el presente estudio existe factores como la industria y actividades turísticas que contribuyen a la contaminación.

Los sedimentos en el medio acuático juegan un papel fundamental en el transporte y acumulación de agentes tóxicos, y de manera importante los iones metálicos, de tal manera que su efecto tóxico se modifica por las condiciones fisicoquímicas presentes (Lima-Cazorla *et al.*, 2005).

El valor promedio de cadmio encontrado en esta investigación de 0.46 mg/L es superior a los reportados por Mendoza-Reynosa (2010) de 0.015 mg/L de igual manera para el río Tuxpan y a lo reportado por López-Ortega (2010) de 0.35 mg/L en la Laguna de Tampamachoco, se puede observar que aumentado al paso de los años los valores de contaminación por cromo en la zona de Tuxpan debido al crecimiento industrial y a que la mayoría de los desechos domésticos son vertidos hacia el río y la laguna, por lo que ésta puede ser otra causa de altas concentraciones de cadmio (Mendoza, 2010). Por otro lado los valores reportados por Graniel y Carrillo (2006) fueron más bajos oscilando entre 0.021 mg/L y 0.065 mg/L, ya que la zona se encontraba en desarrollo urbano.

Cromo

Los metales pesados son elementos que se acumulan en los sedimentos y pueden ser un componente seguro de contaminantes de entrada que progresivamente va aumentando con la contaminación acumulada desde fuentes crónicas y de contaminantes retenidos desde episodios históricos de entrada (Luoma *et al.*, 1998).

En el trabajo actual las concentraciones encontradas fueron superiores a los reportados hace cuatro años en el río Tuxpan por Mendoza-Reynosa (2010) de 0.11 mg/kg; Guzmán *et al.* (2005) reportaron valores similares a esta investigación, en la Laguna de Alvarado encontraron valores de 13.75 mg/kg, en la Laguna de Mandinga valores de 14.75 mg/kg y en Tamiahua los valores de 26.40 mg/kg. En el río de Coatzacoalcos, Rosales y Carranza (2005) presentaron un valor máximo de 109 mg/kg. En la costa fronteriza de Baja California, Galindo *et al.* (1994) reportaron un valor superior de 24.2 mg/kg. En la zona marina del Sur del Golfo de México, Vázquez *et al.* (2006) realizaron un estudio en tres niveles de profundidad, en el primer nivel registraron una concentración de 0.005197 mg/kg, en el segundo nivel el valor fue de 0.006175 mg/kg y en el tercer nivel de 0.00517 mg/kg. Los valores anteriormente mencionados superan el valor de referencia de 1.2 mg/kg determinado por Long *et al.* (1995), sobrepasar este valor provoca efectos biológicos presentado riesgos para los organismos.

En Tuxpan Veracruz, se encuentran asentadas instalaciones petroleras, termoeléctrica (Mendoza, 2010), de acuerdo con Försther y Wittmann (1979) las actividades realizadas en estas instalaciones liberan cromo en grandes cantidades, sin embargo en este trabajo todos los valores que se registraron están debajo del límite máximo permisible al igual en algunos otros estudios por ejemplo, Villanueva y Botello (1992) en la revisión que realizaron presentaron los siguientes valores de Cromo: Laguna de Pueblo Viejo, 0.051 mg/L; Laguna de Mandinga, 0.004 mg/L; Laguna del Carmen, 0.009 mg/L, Laguna de Atasta, 0.007 mg/L y en Laguna de Tampamachoco, 0.001 mg/L en esta última López-Ortega (2010) reportó

concentraciones de Cromo de 0.025 mg/L hasta 0.97 mg/L en la Laguna de Tampamachoco este último sobrepasa la norma,

Plomo

En este trabajo se registraron valores de plomo en el sedimento de 40.70 mg/kg y 1.93 kg/mg, promediando los datos las concentraciones fueron mayores en la temporada de nortes y menores en lluvias. Rosales y Carranza (2005) en el Río Coatzacoalcos reportaron un valor máximo de 78.7 mg/kg y un valor mínimo de 0.02 mg/kg obteniendo un promedio de 39 mg/kg, los valores más altos se observaron en el mes de enero que corresponde a la temporada de nortes teniendo un comportamiento similar al trabajo aquí realizado, Márquez *et al.* (2008) mencionan que las actividades humanas son la fuente principal de la contaminación por plomo debido a la combustión del petróleo y la gasolina.

En río Cazonas, Galindo *et al.* (2005) obtuvieron valores de 26 mg/kg a 52 mg/kg, mientras que López-Jiménez (2012) registró un valor máximo de 25.17 mg/kg y un valor mínimo de 1.20 mg/kg en la Laguna de Tampamachoco. De la Cruz-Landero *et al.* (2013) reporta un valor máximo de 16.05 mg/kg y un valor mínimo de 9.00 mg/kg en la Laguna de Términos, todos estos valores sobrepasan el límite máximo permisible, altos valores de concentración de plomo puede indicar presencia de desechos industriales y domésticos (Hernández, 1994) siendo una fuente potencial de contaminación de plomo, concentrándose en los sedimentos por adsorción o precipitación (Dickson, 1999).

En este trabajo, en el agua de la zona estuarina del Río Tuxpan se registró un valor superior a la norma de 0.37 mg/L en la temporada de lluvias; en el trabajo de López-Ortega (2010) los valores reportados del plomo en el agua de la Laguna de Tampamachoco son inferiores a 0.02 m/L, dicho valor se encuentra dentro de los límites, Mendoza-Reynosa (2010) en su investigación reportó un valor máximo de 0.14 mg/L y un valor mínimo de 0.0006 mg/L, García (2005) en su investigación abarcó dos años de muestreo en el 2003 reportó un valor máximo de 1.69 mg/L y

un valor mínimo de 1.05 mg/L, para el 2004 los valores oscilaron entre 3.29 mg/L y 1.00 mg/L, estos valores descritos superan los límites establecidos en la norma, estos valores pueden incrementar en los sitios donde hay dragados de puertos y canales de navegación o por derrame de desechos industriales a los ríos, estuarios y lagunas costeras (Stanford *et al.*,1981).

Por último se pudo observar que en sedimentos y agua de la zona estuarina del Río Tuxpan presentó valores altos de metales pesados esto debido a que los desechos que se vierten a las cuencas llegan a la costa, en su mayor parte sin tratamiento alguno (OCDE, 1998) y al incremento de las industrias a las orillas del río Tuxpan, fue evidente que las concentraciones más altas de metales pesados se presentaron en los sitios donde existe mayor actividad industrial.

VIII.- CONCLUSIONES

- La temperatura en sedimentos y agua fue mayor en la temporada de lluvias y menor en nortes; la conductividad eléctrica y salinidad son proporcionales en el sedimento y el pH va desde neutral a alcalino.
- En México no se cuenta con normatividad para metales pesados en sedimentos por lo que se tomó la normatividad aplicable al agua. Los valores que se reportan en este estudio de la zona estuarina del Río Tuxpan sobrepasan estos límites. En el Río Tuxpan se realizan dragados lo que esto puede producir remoción de los contaminantes que se encuentran en los sedimentos y así puede recircular en la columna de agua.
- Las concentraciones del cromo no sobrepasaron la norma.
- En el sedimento de la zona estuarina del río Tuxpan existe una disponibilidad de Cadmio en relación a la conductividad eléctrica también existe una relación del Plomo con el pH y en el agua del Río Tuxpan se presentó una relación entre el cadmio y la salinidad.
- Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas de la región.

IX.- APLICACIONES

Actualmente varios cuerpos de agua han sido estudiados con respecto a la contaminación de metales pesados, en la zona cercana a Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz varios sistemas lagunares han sido objeto de estudio sin embargo se conocen muy pocos estudios que se hayan realizado en la zona estuarina del Río Tuxpan, en la cual es muy importante seguir realizando investigaciones, ya que el incremento industrial y poblacional está alterando esta zona.

La zona estuarina no se compara con la explotación pesquera que tiene la Laguna de Tampamachoco y la de Tamiahua, y tal vez por este motivo no se le ha tomado la importancia debida pero se debe tomar en cuenta que un porcentaje de la población realiza actividades pesqueras y de creación en el Río Tuxpan.

Esta investigación se puede tomar como base para seguir con los trabajos en la biota que se encuentra en el Río para conocer el grado de contaminación por metales pesados que puedan tener ciertas especies y por ende al humano al consumir organismos del Río.

Este trabajo se realizó en un año en siete sitios, posteriormente se pueden realizar estudios temporales, comparar los resultados y conocer la gradualidad de la contaminación por metales pesados de igual manera realizarse el monitoreo en algún sitio en específico con el fin saber con exactitud alguna fuente de contaminación.

X.- BIBLIOGRAFIA

- Alejo, M. L. 2004. Estudio de la presencia de metales pesados en peces en el Lago de Chapala. Tesis doctoral. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.
- Albert, L. A. y Badillo, F. 1991. Environmental Lead in Mexico. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. **(117)**: 1-49.
- Arcega-Cabrera, F., Castillo-Blum, S. E. y Armienta, M. A. 2005. Kinetic Study of the Release of Lead in a Mine-Impacted Tropical River. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. **75 (3)**: 523-529.
- Atchinson, G. J., Murphy, B. R., Bishop, W. E., McIntosh, A. W. y Mayes, R. A. 1977. Trace metal contamination of bluegill (*Lepomis macrochirus*) from two Indiana lakes. *Transactions of the American Fisheries Society*. **106(6)**: 637-640.
- Barlas, N., Akbulut, N. y Aydogan, M. 2005. Assessment of heavy metal residues in the sediment and water Samples of Uluabat Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. **74(2)**: 286-293.
- Basáñez-Muñoz, A. J., Cruz-Lucas, M. A., Domínguez-Barradas, C., González-Gándara, C., Serrano-Solís, A. y Hernández-Azuara, A. 2008. Estructura y producción de *Conocarpus erectus* L. en el Sitio Ramsar "Manglares y Humedales de Tuxpan", Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. **8 (1)**: 78-87.
- Botello, A. y Páez, F. 1986. El problema crucial: la contaminación. pp. 62-85. *En: Medio Ambiente en Coatzacoalcos*. Toledo, A., Botello, A. V., Herzig, M.,

Bozada, L., Páez, M., Báez, A. y Contreras, F. (eds.). Ed. Centro de Eco desarrollo, México.

Botello, A. V., Villanueva, S. F. y Rosales, L. H. 2004. Metals, Distribution and contamination in the Gulf of México. pp. 425-447. *En*: Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Caso, M., Pisanty, I. y Ezcurra, E. (eds). Ed. Instituto Nacional de Ecología, México.

Boyd, C. E. 2002. Consideraciones sobre la Calidad del Agua y del suelo en cultivos de camarón. pp. 1-33. *En*: Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica. Haws, M. C. y Boyd, C. E. (eds). Ed. Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua.

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

Chapman, P. M. 1989. Review: current approaches to developing sediment quality criteria. *Environmental toxicology and chemistry*. **8(7)**: 589-599.

Chen, G. y White, P. A. 2004. The mutagenic hazard of aquatic sediments; a review. *Mutagenic Research*. **567(2-3)**: 151-225.

CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). 2002. [mayo 2003]. Página electrónica (www.csic.es/documentacion).

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2012. Página electrónica (<http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo09.html>).

- Contreras, J. B., Mendoza, C. L. y Gómez, A. 2004. Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina. Ciencia y tecnología. **29(001)**: 38-71.
- Cornelis, R. y Nordberg, M. 2007. General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation. pp. 11-38. *En*: Handbook on the toxicology of metals. Gunnar, F., Nordberg, B. A., Norberg, M y Lars T. F. (eds.). Ed. Elsevier. San Diego, CA.
- De la Cruz-Landero, N. Alderete, C. A. y Laffeten, L. S. 2013. Acumulación de metales pesados en sedimento del ecosistema manglar en Laguna de Términos, Campeche, México. Foresta veracruzana. **15(1)**: 25-30.
- De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal, P. J. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). Ed. Plaza y Valdés, S. A de C. V, México. 633 pp.
- Dickson, T. R. 1980. Química: enfoque ecológico. Ed. Limusa, Distrito Federal. 406 pp.
- Duffus, J. H. 2002. Heavy metals a meaningless term. Pure and applied chemistry. **74(5)**: 793-807.
- Eyre, B. y Balls, P. 1999. A comparative study of nutrient behavior along the salinity gradient of tropical and temperate estuaries. Estuaries. **22**: 313-326.
- Fontana, D., Lascano, V., Solá, N., Virgolini, M. y Mazzieri, M. 2013. Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. Revista de salud pública. **17(1)**: 49-59.

- Förstner U. y Wittmann, G. T. W. 1979. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Ed. Springer -Verlag, New York. 485 pp.
- Förstner, U., Ahlf, W. y Calmano, W. 1993. Sediment quality objectives and criteria development in Germany. Water Science and Technology. **28(8-9)**: 307-316.
- Galindo, E., Flores, M., Ortega, V. y Villaescusa, J. 1994. Metales pesados en sedimento de la costa fronteriza Baja California (México) – California (EUA). Cuencas marinas. **20 (1)**: 105-121.
- Galindo, J., Vázquez, L., Cruz, M., López-Ortega, M. y San Martín, P. Contaminación del Río Cazonés, Veracruz, México durante el periodo octubre 2004 – junio 2005. 2005. Revista UDO Agrícola. **5(1)**: 74-80.
- Gándara, G. C., De la Cruz, V. F., Salas, P. J. y Domínguez, B. C. 2012. Lista de peces de Tuxpan, Veracruz, México. Revista Científica UDO Agrícola. **12(3)**: 675-689.
- García, G. C. 2005. Metales tóxicos en el sistema lagunar Mandinga Veracruz. Proyecto de servicio social. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, D.F. México. 32 pp.
- Gómez, A. A., Villalba, A. A., Acosta, R. G., Castañeda, O. M. y Kamp, D. 2004. Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. **20 (1)**: 5-12.
- González, B. J., Carrión, J. J., Yam, G. O. y Díaz, L. C. 2008. Contaminación de la bahía de Chetumal por metales pesados, materias orgánicas y nutrientes producidas por las descargas de las aguas municipales. Caos Conciencia. **1(5-11)**: 5-11.

- González-Fierro, A., Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S. y Ponce-Vélez, G. 1994. Presencia de metales pesados en sedimento recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. *Hidrobiología*. **4(1-2)**: 35-43.
- Grael, C. E. y Carrillo, C. E. M. 2006. Calidad del agua del río Zanatenco en el estado de Chiapas. *Ingeniería*. **10(3)**: 35-42.
- Guzmán, A. P., Villanueva F. S. y Botello, V. A. 2005. Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. pp. 361-372. *En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Botello, V. A., Rendón-von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.). Ed. Universidad Autónoma de Campeche, Univ. Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, México.
- Hellawell, J. M. 1989. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Ed. Elsevier Applied Science, Londres. 546 pp.
- Hernández, A. E. 1994. Determinación de metales en agua, sedimento y biota de la Laguna de Mandinga, Veracruz. México. Servicio social. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. México, D. F.
- INGGO. 1980. Bioacumulación de metales pesados y plaguicidas en especies acuáticas de importancia económica. Ed. SARH, Direc. Gral. De Protección y Ordenamiento Ecológico, México. 138pp.
- Jiménez, J. A. 2001. Sedimentos marinos contaminados y alternativas de actuación con énfasis en la técnica de recubrimiento. Ed. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 322 pp.

- Linnik, M. y Zubenko, I. 2000. Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy metal compounds. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* **5(1)**:11-21.
- Lima-Cazorla, L., Olivares-Rieumont, S., Columbie, I., Rosa, M. D. y Gil, C. R. 2005. Niveles de plomo, zinc, cadmio y cobre en el río Almendares, Ciudad Habana, Cuba. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. **21(3)**: 115-124.
- Long, E. R., Macdonald, D. D., Smith, S. L. y Calder, F. D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental management*. **19(1)**: 81-97.
- López-Jiménez, A. 2012. Determinación de algunos metales pesados en *Mugil curema Valenciennes*, 1836 y sedimentos de Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopía de absorción atómica. Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de Reforma, México.
- López-López, E., Salgado-Mejía, M. y Guzmán-del Proo, A. 1991. Un análisis estacional de la Laguna de Tampamachoco, Ver., y sus hábitos alimentarios. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. **34**: 81-107.
- López-Ortega, M. 2012. Determinación de metales pesados en *Eugerres plumieri* (Cuvier, 1830) y agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopía de absorción atómica. Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de Reforma, México.

- Luoma, S. N. y Ho, K. T. 1998. Appropriate Uses of Marine and Estuarine Sediment Bioassays. pp. 193-226. *En: Handbook of Ecotoxicology*. Hoffman, D. J., Rattner, B. A., Burton, G. A. y Cairns, J. (eds.). Ed. Blackwell Science, Oxford.
- Mandelli, E. F. 1979. Contaminación por metales pesados. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*. **10**: 209-228.
- Márquez, A., Señor, W., Martínez, G., Castañeda, J. y González, A. 2008. Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la Laguna de Castillero, Venezuela. *Revista Científica (Maracaibo)*. **18 (2)**: 121-133.
- Medina, G. R., Zetina, M. C., Comas, B. M. y Pat, C. R. 2004. Concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos y en tres especies de pepino de mar (clase *holoturoidea*) de las costas del Estado de Yucatán, México. *Ingeniería*. **8(2)**: 7-19.
- Mendoza, D. F. 2010. Determinación de metales pesados, Cd, Cr, Cu y Pb en *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891) colectados en la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Mendoza-Reynosa, E. 2010. Evaluación de la salud de *Mugil curema* Valenciennes, 1836 (Pisces: Mugilidae) de la laguna de Tampamachoco y el río Tuxpan, Veracruz y su relación con factores ambientales. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Murano, H., Matsuzaki, K., Shiraishf, H. y Wakabayashi, M. 2007. Effects of heavy metals in river waters in Japan on immobility and mortality of *Daphnia magna* and *Oryzias latipes* larvae. *Fisheries Science*. **73(5)**: 1078-1086.

- Nagelkerken, I., 2009. Evaluation of Nursery function of Mangroves and Seagrass beds for Tropical Decapods and Reef fishes: Patterns and Underlying Mechanisms. pp. 357-399. *En: Ecological Connectivity among Tropical Coastal Ecosystems*. Nagelkerken, I. (ed.). Ed. Springer, New York.
- Navarro, E. y Sabater, S. 2004. Contaminación de ríos por metales pesados. *Investigación y Ciencia. Scientific American*. **3(26)**: 26-31.
- Nelson, C. H. y Lamothe, P. J. 1993. Heavy metals anomalies in the Tinto and Odiel river and estuary system, Spain. *Estuaries*. **16(3)**: 496-511.
- OCDE, 1998. Análisis del Desempeño Ambiental. México. *Perspectivas OCDE*.
- Páez-Osuna, F., 2005. Efectos de los metales, pp. 343-360. *En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Botello, V. A., Rendón-von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.). Ed. Universidad Autónoma de Campeche, Univ. Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, México.
- Rai, L. C., Gaur, J. P. y Jumar, H. D. 1981. Phycology and heavy-metal pollution. *Biol. Rev.* **56**: 99-151.
- Rainbow, P. S. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Mar. Poll. Bull.* **31(4-12)**: 183-192.
- Rainbow, P. S., Huang, Z. G., Yan, S. K, y Smith, B. D. 1993. Barnacles as biomonitors of trace metals in the coastal water near Xiamen, China. *Asian Marine Biology*. **10**: 109-121.

- Ramírez, M. W. 1999. Diseño de un modelo de saneamiento de suelos contaminados con metales pesados derivados de la explotación minera. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. México.
- Raz-Guzmán, M. A. 2000. Crustáceos y poliquetos. pp. 265-309 *En: Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carbajal P. J. (eds.). Ed. Plaza y Valdés S. A de C. V, México.
- Rodríguez, R. H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Rojas, M. C. 2011. Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.
- Rosales, H. L. y Carranza, A. E. 2005. Estudio geoquímico de metales en el estuario del río Coatzacoalcos. pp. 389-406. *En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Botello, V. A., Rendón-von Osten, J., Gold-Bouchot, G. y Agraz-Hernández, C. (eds.). Ed. Universidad Autónoma de Campeche, Univ. Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, México.
- Rosas-Rodríguez, H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Catalunya, Barcelona, España.

- Salomons, W. 1995. Environmental impact of metals derived from mining activities processes, predictions, prevention. *Journal of Geochemical Exploration*. **52(1-2)**: 5-23.
- Shrivastava, P., Saxena, A. y Swarup, A. 2003. Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M. P.) India. *Lakes and Reservoirs. Research and Monagement*. **8(1)**: 1-4
- Shumilin, E., Meyer-Willerer, A., Marmolejo-Rodríguez, A. J., Morton-Bermea, O., Galicia-Pérez, M. A., Hernández, E. y González-Hernández, G. 2005. Iron, Cadmium, Chromium, Copper, Cobalt, Lead, and Zinc distribution in the suspended particulate matter of the tropical mabarasco river and its estuary, Colima, Mexico. *Mexico. Environmental Contamination and Toxicology*. **74**: 518-525.
- Stanford, H. M., O'Connor, J. S. y Swanson, R. L. 1981. The effects of ocean dumping on the New York Bight ecosystem. pp. 53-86. *En: Ocean dumping of industrial wastes*. Duedall, I. (ed.). Ed. Plenum Press, Nueva York.
- Valdés, P. F. y Cabrera, M. V. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila México. Ed. *En Defensa del Ambiente, A.C. Ciudadanía Lagunera por los derechos humanos, A. C. Torreón*. 50 pp.
- Vázquez, G. F. Alexander, V. H. y Frausto, C. A. 2006. Metales Pesados (Cadmio, Cromo, Níquel y Vanadio) Adsorbidos en Sedimentos de la Sonda de Campeche. *Campaña Oceanográfica SGM-9. Actas INAGEQ*. **12(1)**: 12-19.
- Villanueva, F. S. y Botello, A. V. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe mexicano: Una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. **8(001)**: 47-61.

Yarto, M. 2005. Las sustancias tóxicas en México. Instituto Nacional de Ecología. México. [Actualizado al 15 de noviembre de 2007]. Página electrónica (<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/467/yarto.html>).