



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISION DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**BIOACUMULACION DE METALES PESADOS EN
MANGLE ROJO (*Rizophora mangle*)**

TESIS RECEPCIONAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADO EN INGENIERIA AMBIENTAL

Presenta

Josué Eduardo Tah Euan

Director de tesis

Q.F.B. José Luis González Bucio

Chetumal, Quintana Roo, México 2009



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité del Programa de Licenciatura y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**Licenciado en Ingeniería Ambiental
COMITÉ DE TESIS**

Director: _____

Q.F.B. José Luis González Bucio

Asesor: _____

Dr. José Manuel Carrión Jiménez

Asesor: _____

M.C. Benito Prezas Hernández

Asesor suplente. _____

Bióloga. Laura Patricia Flores Castillo

Asesor suplente. _____

MC. José Martin Rivero Rodríguez

Chetumal, Quintana Roo, México, Febrero de 2009.

DEDICATORIA

A mis padres, la Profesora Ana María Euan Blanco, a mi padre el Profesor Elio Benito Tah Pech, gracias por su apoyo, la orientación que me han dado, por iluminar mi camino y darme la pauta para poder realizarme en mis estudios y mi vida. Agradezco los consejos sabios que en el momento exacto han sabido darme para no dejarme caer y enfrentar los momentos difíciles, por ayudarme a tomar las decisiones que me ayuden a balancear mi vida y sobretodo gracias por el amor tan grande que me dan.

Son ustedes las personas que siempre me han levantado los ánimos tanto en los momentos difíciles de mi vida estudiantil como personal. Gracias por su paciencia y esas palabras sabias que siempre tienen para mis enojos, mis tristezas y mis momentos felices, por ser mi amiga y amigo y ayudarme a cumplir mis sueños, los quiero mucho.

A mis hermanos, Armando, Misael, Reyes, Elio, Julio e Hilberth, Por ser la fuente de mi inspiración y motivación para superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor de verdad soy muy feliz por tenerlos como hermanos y como mi mejores amigos y a todos los que conforman la familia Tah Pech y Euan Blanco.

A mis maestros, en especial a mi Director de tesis al Q.F.B., José Luis González Bucio por su ayuda en la realización de esta investigación. A mis Asesores el Dr. José Manuel Carreón Jiménez y al MC Benito Prezas Hernández y a mis Asesores Suplentes la Bióloga Laura Patricia Flores Castillo y al MC José Martin Rivero Rodríguez. A todos ellos gracias por hacer posible la realización de esta investigación, por sus consejos y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia.

Gracias a todos los maestros que en el transcurso de mi formación profesional compartieron sus conocimientos para ser de mí un hombre de bien.

A todos mis amigos y amigas de la carrera, en cada uno de ustedes hay una persona muy especial. He aprendido y disfrutado con ustedes mis horas de estudio, mis horas de alegría los viajes que realizamos y de los momentos difíciles que compartieron conmigo gracias por la ayuda cuando en ocasiones me he sentido perdido y por esa amistad sincera, recuerden que en mí siempre podrán encontrar un amigo. Los voy a extrañar.

INDICE

Contenido

1.0	INTRODUCCION.....	6
1.1	El Mangles Rojo (Rizophora mangle).....	7
1.2	Bioacumulación	8
1.2.1	Bioacumulación en el mangle.....	9
1.3	Metales pesados	10
1.3.1	Definición de metales pesados y su significado.....	10
1.4	Antecedentes	13
1.5	Justificación	15
1.6	Objetivos	16
1.6.1	Objetivo general:.....	16
1.6.2	Objetivos específicos:	16
2.0	METODOLOGIA.....	17
2.1	Equipo	17
2.2	Reactivos.....	17
2.3	Diseño de Muestreo	18
2.3.1	Descripción del Área de Estudio	19
2.4	Determinación en Mangle Rojo (Rizophora mangle).....	21
2.4.1	Preparación de las muestras de Mangle.....	21
2.5	Determinación de parámetros físico-químicos en Agua	22
2.6	Determinación en Sedimento	22
2.6.1	Determinación de parámetros físico-químicos en Sedimentos	22
2.7	Tratamiento estadístico de los Datos.....	23
3.0	RESULTADOS Y DISCUSION.....	24
3.1	Parámetros físico-químicos en el agua del río Hondo	24
3.1.2	Conductividad.....	27
3.1.3	Oxígeno Disuelto	28
3.1.4	pH.....	29
3.2	Parámetros físico químicos en muestra de sedimentos	30
3.2.1	CaCO ₃	31
3.2.2	Humedad Higroscópica.....	33
3.2.3	Materia Orgánica	34
3.3	Metales pesados	35
3.3.1	Mercurio (Hg)	36
3.3.2	Cadmio (Cd).....	37
3.3.3	Plomo (Pb).....	38
3.3.4	Zinc (Zn).....	38
3.4	Análisis de correlación.....	39
3.5	Análisis de Componentes Principales	41
3.6	Cluster	44
4.0	CONCLUSIONES	46
5.0	RECOMENDACIONES	48
6.0	BIBLIOGRAFIA	49

1.0 INTRODUCCION

En Quintana Roo el manglar se distribuye a lo largo de las costas bordeando esteros y lagunas costeras salobres. Forma densas poblaciones arboladas y arbustivas. Los manglares son ecosistemas naturales valiosos que enfrentan alteraciones severas, como la contaminación por descarga de aguas residuales y la sobreexplotación de productos derivados de dichos ecosistemas, que afectan su estructura, funcionamiento y existencia. Uno de los principales factores de este deterioro es el uso irracional de los recursos naturales que provoca la pérdida de la diversidad biológica, así como sus formas de vida, cuyas causas más probables son la alteración y pérdida del hábitat, así como la contaminación y el cambio climático. Los manglares son el hábitat natural de la fauna acuática y desempeñan un papel importante como fitorremediadores de contaminantes presentes en el agua. Los manglares constituyen una de las mejores opciones dentro de los humedales costeros, en la captura de carbono para reducir los efectos que induce la ruptura de la capa atmosférica de ozono y el efecto invernadero sobre el planeta. Estos cambios están afectando los patrones de temperatura, precipitación pluvial, depresiones tropicales, huracanes, variación del nivel medio del mar y descargas de ríos (Yáñez *et al.*, 1998).

Los ecosistemas de mangle se constituyen, en primer lugar, por el mangle rojo o *Rizophora mangle*, el cual por su gran resistencia a la inundación y a la salinidad se encuentra en mayor contacto con el agua y en los sustratos más inestables. Luego se encuentra el mangle negro o *Avicennia germinans*, que sólo pueden soportar inundaciones periódicas. Luego el botoncillo o *Conocarpus erectus*, y por último el blanco o *Laguncularia racemosa*, ubicados en tierra firme, casi en contacto con la selva. (Foroughbakhch *et al.*, 2004).

1.1 *El Mangles Rojo (Rizophora mangle)*

Los árboles de mangle rojo, de la especie *Rizophora*, son los más comunes y son los que observamos al navegar por los ríos y esteros que conducen al mar. Éstos tienen un atractivo muy peculiar: sus raíces son aéreas, lo que les permite sostenerse sobre los suelos blandos de la costa y filtrar la salinidad del agua. (Mercado *et al.*, 2005).

Este tipo de manglar se halla en zonas con gran influencia del mar y al estar tan cerca, se constituye en un bosque protector que nos previene de los oleajes y de las arremetidas del mar en tierra firme. El manglar no solamente es importante por sus bosques sino por los ecosistemas que se conforman dentro de él. Es hábitat de una multiplicidad de especies de fauna: en sus copas viven aves como garzas, colibríes, patos camachos, fragatas, pelícanos, chocolateras; en sus ramas se encuentran iguanas, tigrillos, y en sus raíces, conchas, cangrejos, caracoles y larvas de camarón. (Gómez *et al.*, 2003).

Sus raíces protuberantes suplen de aire y proveen soporte y estabilidad por encontrarse en el área mas directamente afectado por la energía del agua. Estas raíces superficiales poseen poros o lenticelas, que les permite incorporar nutrientes y realizar intercambio de gases. También atrapan fangos y arcillas que llegan con las mareas, de esa forma ayudan a rellenar y recobrar terreno a su alrededor. El mangle rojo se encuentra en las regiones tropicales y subtropicales de nuestro planeta extendiéndose unos 28°. Esta especie es usualmente la más dominante de las cuatro. Los manglares tienen un alto valor ecológico y económico ya que actúan como criaderos para muchos peces y mariscos. Muchas de estas especies nacen en ecosistemas cercanos como praderas de yerbas marinas o arrecifes de corales y sus larvas y juveniles se desarrollan bajo sus raíces por lo que son fundamentales para el hombre ya que aseguran la sustentabilidad de la industria pesquera. Son importantes para la educación e

investigación científica y además son usados para la recreación pasiva y actividades turísticas.

El impacto del ser humano en estos ecosistemas no es algo nuevo. Aun conociendo todos los beneficios el 75% de los mangles han sido destruidos y los que quedan están en peligro de desaparecer. Muchas de las actividades hechas por el hombre desde tiempos inmemoriales han afectado al manglar en diferentes formas. Podemos mencionar algunas de ellas. Alteraciones en los cauces de los ríos, dragados, descargas industriales y uso de abono y plaguicidas en lugares aledaños han contaminado y alterado los patrones de flujo, reciclaje de nutrientes, deposición y transportación de sedimentos. (Mercado Burgos Marianela *et al.*, 2005).

Además de esto, los manglares son importantes por la manera de bioacumular elementos inorgánicos, tales como los metales pesados (Foroughbakhch *et al.*, 2004).

1.2 *Bioacumulación*

Es el proceso de acumulación de ciertos productos dentro de los organismos. Algunos metales pesados e hidrocarburos clorados son acumulados por los organismos acuáticos. Es por eso que pueden encontrarse concentraciones muy altas de estos elementos químicos en tejidos biológicos, aún cuando se hallen extremadamente diluidos en el medio acuático circundante. Los procesos de bioacumulación son debidos, básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo. (Marcovecchio *et al.*, 1991).

Durante los últimos años se ha producido un considerable avance en la Biotecnología del campo de la ciencia que se dedica a remediar lugares o medios contaminados mediante el uso de plantas y organismos relacionados, denominada

Fitorremediación. Es especialmente significativo el desarrollo que se ha conseguido en la descontaminación de metales pesados.

El presente trabajo trata de dar a conocer cuales son las concentraciones de metales pesados que el Mangle Rojo (*Rhizophora mangle*) hace participar en la tolerancia y acumulación de metales pesados. Es razonable pensar que si se comprende dicho funcionamiento es sólo una cuestión temporal diseñar y obtener soluciones adecuadas a todos los problemas derivados de la contaminación por metales pesados (Navarro *et al.*, 2007)

1.2.1 Bioacumulación en el mangle.

Los dos centros mas probables de la absorción y por consiguiente la bioacumulación son las raíces y las hojas. Las raíces absorben principalmente soluciones contenidas en el suelo y dicha absorción implica primariamente iones y compuestos solubles en agua. Esta absorción depende mucho de la naturaleza de la solución existente en el suelo que viene afectada por la afinidad de las partículas del suelo por los solutos y por la actividad de los microorganismos del suelo que metabolizan estos solutos.

Las sustancias toxicas absorbidas por las raíces son frecuentemente retenidas en los órganos de almacenamiento radicales, y tienden a persistir ahí por mucho mas tiempo que en los tallos o en las hojas. (Mercado *et al.*, 2005)

La absorción realizada por las hojas puede ser de sustancias gaseosas procedentes de la atmosfera o de sustancias disueltas por la lluvia, la nieve y los rociados que se aplican al control de plagas. La exposición de una hoja determinada a una sustancia toxica depende de la morfología de la planta. La

densidad del follaje puede impedir que las sustancias tóxicas alcancen las hojas internas.

Las tasas de absorción de las sustancias tóxicas por las plantas dependen mucho de los factores ambientales, la duración del día; la cualidad de la luz y su intensidad; la temperatura; el contenido de humedad; la composición química del suelo y la humedad del aire. (Mercado *et al.*, 2005)

1.3 Metales pesados

Los metales están de forma natural en el medio ambiente, son aportados a los suelos y al ciclo hidrológico durante la erosión de rocas ígneas y metamórficas por la acción atmosférica física y química. Algunos metales son naturalmente abundantes y tienen altas concentraciones de fondo (Al, Fe), otros metales son más raros y tienen bajas concentraciones de fondo (Hg, Cd, Ag y Se). (Peñalosa, 2005)

1.3.1 Definición de metales pesados y su significado

Químicamente se entiende por metal pesado aquel cuya densidad es mayor de 5gr/cm^3 . El término metales pesados es ampliamente usado por científicos medioambientales y su definición es complicada. Lesaca (1997) incluye en esta definición a los metales que en la tabla periódica están en el rectángulo que forman Ti, Hf, As y Bi en sus esquinas, y además a dos elementos no metálicos: Se y Te.

En general la expresión metales pesados se usa cuando hay una connotación de toxicidad. Los metales pesados más comunes por sus efectos tóxicos y porque

son fácilmente medibles en muestras marinas son plomo, cadmio, mercurio, arsénico, bario, zinc, cobre, hierro y manganeso (Ansari, 2004).

Generalmente los metales pesados se encuentran en concentraciones muy bajas, aunque la actividad humana ha aumentado sus niveles en muchas aguas fluviales, océanos y sedimentos por: residuos mineros, extracción de petróleo y gas, industrias (pesticidas, pinturas, cuero, tejidos, fertilizantes, medicamentos), vertidos domésticos, residuos agrícolas, etc.

Los iones metálicos una vez incorporados en el sistema acuático se pueden encontrar libres o formando complejos, ya sea con ligandos inorgánicos como Cl^- , OH^- , CN^- , etc., como orgánicos EDTA, ácido cítrico, oxálico, húmicos, fúlvico, etc. Asimismo los iones metálicos se pueden incorporar en la fase sólida (sedimentos, vegetales, organismos y materia en suspensión) (Buffle *et al* 1984)

Algunos metales pesados son esenciales para la vida y otros son beneficiosos, pero muchos son altamente tóxicos. Las concentraciones en las cuales los metales pueden ser considerados tóxicos cambian de una especie a otra, para una especie, un elemento es esencial en niveles bajos, pero puede ser tóxico para otras. Los criterios para establecer si o no un metal pesado es esencial para el crecimiento normal de plantas y/o los animales incluyen:

- el organismo no puede crecer ni puede completar su ciclo biológico sin un suministro adecuado del metal.
- el metal no puede ser totalmente reemplazado por otro metal.
- el metal tiene una influencia directa en el organismo y está involucrado en su metabolismo (Castañe *et al* 2003).

Los resultados de esta investigación permitirán tener un conocimiento de los niveles de metales plomo, cadmio, mercurio y Zinc en el agua del Rio Hondo, y

puede ser utilizada como apoyo en planes de control de la contaminación y estudios de monitoreo del mismo río y en las aguas de la bahía.

Plomo: se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo, poco se sabe sobre la toxicidad del plomo respecto a las plantas, en las cuales tiende a ubicarse en el sistema radicular. Los animales pueden absorber el plomo por inhalación o ingestión. La absorción es muy lenta pero la excreción es todavía más lenta de manera que el plomo tiende a acumularse. El plomo limita la síntesis clorofílica de las plantas. No obstante las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo. (Duffus J.H., 1983)

Cadmio: se encuentra normalmente en el suelo y agua en bajas concentraciones. Si el cadmio se encuentra en altas concentraciones en el ambiente, este puede ser muy peligroso por que muchas plantas y animales lo absorben eficazmente y lo concentran dentro de sus tejidos. En ecosistemas acuáticos el Cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. La susceptibilidad al Cadmio puede variar ampliamente entre organismos acuáticos.) (Duffus J.H., 1983)

Zinc: constituye solo el .004% de la corteza terrestre. Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como uno de los elementos menos peligrosos, aunque su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de arsénico, plomo, cadmio y antimonio como impurezas. La toxicidad suele ser baja para animales y personas, pero no debe descartarse la fitotoxicidad. (Duffus J.H., 1983)

Mercurio: es uno de los elementos más tóxicos del ambiente, casi todo el mercurio usado por el hombre pasa al final al ambiente. A este se le añaden otros metales, a partir de la combustión del carbón, y de la meteorización de las rocas y la desgasificación de la corteza terrestre. Todas las formas del mercurio son

potencialmente tóxicas pero las toxicidades varían considerablemente. Entre las más tóxicas se encuentra el vapor de mercurio. Una de las mayores preocupaciones por el mercurio son las transformaciones que se lleva a cabo a ingresar al ambiente. Entre estas se encuentran la transformación del mercurio metálico en metil y dimetil-derivados por acción de microorganismos anaerobios. Muchas algas y otras plantas presentan la capacidad de absorber y concentrar mercurio a partir del ambiente circundante. (Duffus J.H., 1983)

1.4 Antecedentes

Se han realizado algunos estudios en el área del río Hondo. Ortiz *et al.* 1997, en coordinación con personal de la zona Naval Militar, efectuó un trabajo relativo a la evaluación de niveles de plaguicidas organoclorados en sedimento de las principales afluentes hacia México y Belice con desembocadura en el río Hondo. Consideraron 14 puntos partiendo de La Unión hasta la desembocadura del río Hondo en la Bahía de Chetumal. Concluyeron que al río Hondo llegan diversidad de contaminantes provenientes de la actividad agrícola de la zona cuyo receptor final son los sedimentos de la bahía y, en caso de resuspenderse, dichos sedimentos serían una fuente potencial de contaminantes que podrían liberarse a la columna de agua y ocasionar efectos tóxicos a la biota.

En 1997 Rojas *et al.*, realizó estudios de niveles de concentración de metales pesados en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la Bahía de Chetumal y río Hondo y se hallaron 14 metales en huesos de manatíes de la Bahía y un ejemplar de la Isla Holbox; las concentraciones de Ni, Cu, Cd, Pb y Hg fueron superiores a las reportadas en otros mamíferos marinos.

En el 2001 se realizó un estudio de especiación de metales pesados en sedimentos de la bahía de Chetumal, Quintana Roo y la acumulación en el músculo de bagres (*Ariopsis assimilis*), como resultado, el Zn y el V fueron los metales más biodisponibles en las dos épocas del año y el Fe menos biodisponible tanto en sedimentos como en los organismos. También las

relaciones mineralógicas entre el Fe, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni y V sugirieron los aportes de estos metales de diferentes fuentes adicionales (García, 2001).

En el 2002 Ojeda Calderón A.L. Realizó un estudio de tesis llamado “Determinación de metales pesados en algas *Eteromorpha* y *Polisyphonia* en la zona costera de la bahía de Chetumal Quintana Roo” donde se encontraron metales pesados de importancia por su toxicidad, Hg, Zn Pb, Ag, Ni, Cr As y Ba, este estudio se realizo en el periodo de lluvias y secas del año 2002. Por lo que se concluyo que las concentraciones de los metales analizadas en algas cafés se presentan muy semejantes en tendencia a las especies de Algas verdes, pero con niveles de concentración más baja, por lo que podemos decir que la captación de los metales pesados en Algas, puede variar por género estudiado.

En el 2005, Peñalosa Sánchez A. M. realizó un estudio de la contaminación por metales pesados en la columna de agua y en sedimento del río Hondo, este estudio demostró que el rio se encontraba en un nivel bajo de contaminación en lo que es sedimento y columna de agua, y que existe una relación entre el alto contenido de carbonatos y Pb, así como de la materia orgánica con el mercurio y que con un pH ligero y un cambio de temperatura estos podían ser biodisponibles.

En el 2004 Foroughbakhch *et al.*, de la universidad Autónoma de Nuevo León realizó un estudio denominado “Aspectos Ecológicos de los manglares y su potencial como fitorremediadores en el Golfo de México”, en este trabajo se dieron a conocer las concentraciones de metales pesados Pb y Cd en las diferentes partes de la planta (raíz, tallo y hojas), dando resultados con menores concentraciones (Pb: 13.84 mg/L y Cd: 0.97 mg/L) que las esperadas en la bahía de Chetumal, Q. Roo.

1.5 *Justificación*

Las comunidades que se encuentran alrededor del Rio Hondo están provocando problemas de contaminación por metales debido a las actividades que se realizan en estos poblados tanto de México como en el país vecino de Belice los cuales son: la agricultura, la ganadería, el sector industrial sin que estas aguas tengan un tratamiento, lo que hace que se filtre y contamine el río de manera significativa alterando el hábitat de especies que ahí se encuentran. Entre los contaminantes se consideran los agroquímicos que utilizan las zonas agropecuarias de toda la ribera del río Hondo, debido al cultivo de la caña de azúcar y los desechos de ingenios azucareros y fábricas, que manejan desechos químicos tóxicos, tales como restos de plaguicidas organoclorados, melazas, pesticidas etc., situados en nuestro país y en el país circunvecino de Belice C. A. estos residuos pasan al río Hondo, por filtración u otro mecanismo.

El problema podría ser relevante ocasiona daños a la salud de las personas, ya que en diferentes lugares alrededor del río, éste es utilizado para la pesca local, la recreación, para la ganadería, para actividades domésticas y como vertedero de descargas de aguas negras de modo que no solo recibe descargas tóxicas de nuestro estado sino que también del sureste de Quintana Roo en donde tenemos la ciudad de Corozal del país de Belice, que está a solo 8 km de distancia entre ciudad Chetumal.

Los manglares pueden utilizarse como agentes de remediación, son biofiltros naturales en sitios contaminados con metales pesados, especialmente por que estos compuestos se quedan fijados en la biomasa de las raíces y la madera manteniendo una baja recirculación en comparación con otras especies

Con este estudio se aportan conocimientos importantes respecto a metales pesados en el Mangle Rojo así como sus propiedades físico químicas en agua y sedimentos del río hondo.

1.6 *Objetivos*

1.6.1 *Objetivo general:*

Evaluar las concentraciones de los metales pesados Pb, Cd, Zn y Hg en el ecosistema de mangle rojo de la especie *Rizophora mangle*, para conocer su potencial como bioacumuladores y como posibles indicadores de la contaminación por metales pesados.

1.6.2 *Objetivos específicos:*

Determinar la concentración total de los metales pesados Pb, Cd, Zn y Hg en *Rizophora mangle* en 6 zonas del Río Hondo.

Establecer una correlación entre parámetros físico-químicos del agua (temperatura, MO, pH, Conductividad, Oxígeno disuelto, Carbonato de Calcio y los metales pesados seleccionados en dichos puntos.

2.0 METODOLOGIA

2.1 Equipo

Para determinar el contenido de los metales pesados en el mangle se utilizó un equipo de Espectrometría de Absorción Atómica con Llama, para ello se empleó un espectrómetro de doble rayo Varian, modelo SpectrAA 220 con llama aire/acetileno y óxido nítrico/acetileno y generador de hidruros VGA 77. Para el análisis de los datos se utilizó un paquete estadístico incluido en el programa XLSTAT-Pro versión 7.5.3, 2008 Addinsoft.

Para los parámetros físico-químicos *in situ* se utilizaron los siguientes equipos. Para el pH se utilizó un medidor de pH portátil modelo HANNA HI 9214 de lectura digital a la centésima, con un electrodo combinado de vidrio-calomelano; la temperatura se registró con un termómetro digital modelo HANNA HI 9143 graduado en décimas de grado Celsius, la conductividad se analizó con un conductímetro portátil modelo HANNA HI9635 en mS/cm con ajuste de temperatura; para el oxígeno disuelto se determinó con un oxímetro portátil modelo HANNA HI 9143 en mg/L.

2.2 Reactivos

Los reactivos utilizados para el tratamiento de las muestras consistieron básicamente en: ácido nítrico J. T. Baker, al 69 – 70 % y $d = 1.42$ Kg/L, ácido Clorhídrico J. T. Baker, 36.5 – 38 %, Grado Instra, agua Tridestilada, Lote-Y24CO3 para la digestión del mangle; Estándar de Cadmio, 1000 ppm, Estándar de Plomo, 1000 ppm, Estándar de Mercurio, 1000 ppm, Estándar de Zinc, 1000 ppm marca Solutions para la preparación de las muestras y las curvas de calibración para el análisis con el equipo de espectroscopia de absorción atómica.

2.3 *Diseño de Muestreo*

El trabajo de campo consistió en recorridos de aproximadamente 15 km cada uno a lo largo del río Hondo, Para la distribución de la red de estaciones de muestreo se consideraron lugares con poblados cercanos como criterios establecidos debido a descargas mínimas de aguas residuales domésticas. El tipo de muestreo utilizado fue el de sondeo.

El agua se recolectó en frascos de polipropileno, siguiendo el criterio propuesto por Word y Mearns (1979), previamente lavados con ácido nítrico diluido al 10%. Los frascos se etiquetaron y se conservaron adecuadamente. La toma de muestras de mangle se realizó cortando y extrayendo su raíz en aguas no superiores a los 2 metros de profundidad, estas para su análisis se conservaron en bolsas para posteriormente ser trasladadas al laboratorio para su análisis.

Para la colecta de sedimentos se utilizó un núcleo y se colocaron en bolsas de polietileno conservándose para transportarlas al laboratorio para su posterior análisis.

De acuerdo a las estaciones de muestreo seleccionadas durante el recorrido se seleccionaron seis sitios que cumplían con criterios tales como profundidad (estaciones menores a 2 metros), lugar de uso intensivo de agua del río para actividades de la comunidad, formador de ramal por cause desviado para la toma de muestras.

La red de muestreo seleccionada fue la siguiente: 1.- Poblado Álvaro Obregón (Ingenio), 2.- Ramonal, 3.- Palmar, 4.- Sac-xan 5.- Juan Sarabia y 6.- Desembocadura del río Hondo (bahía de Chetumal) Figura 1.

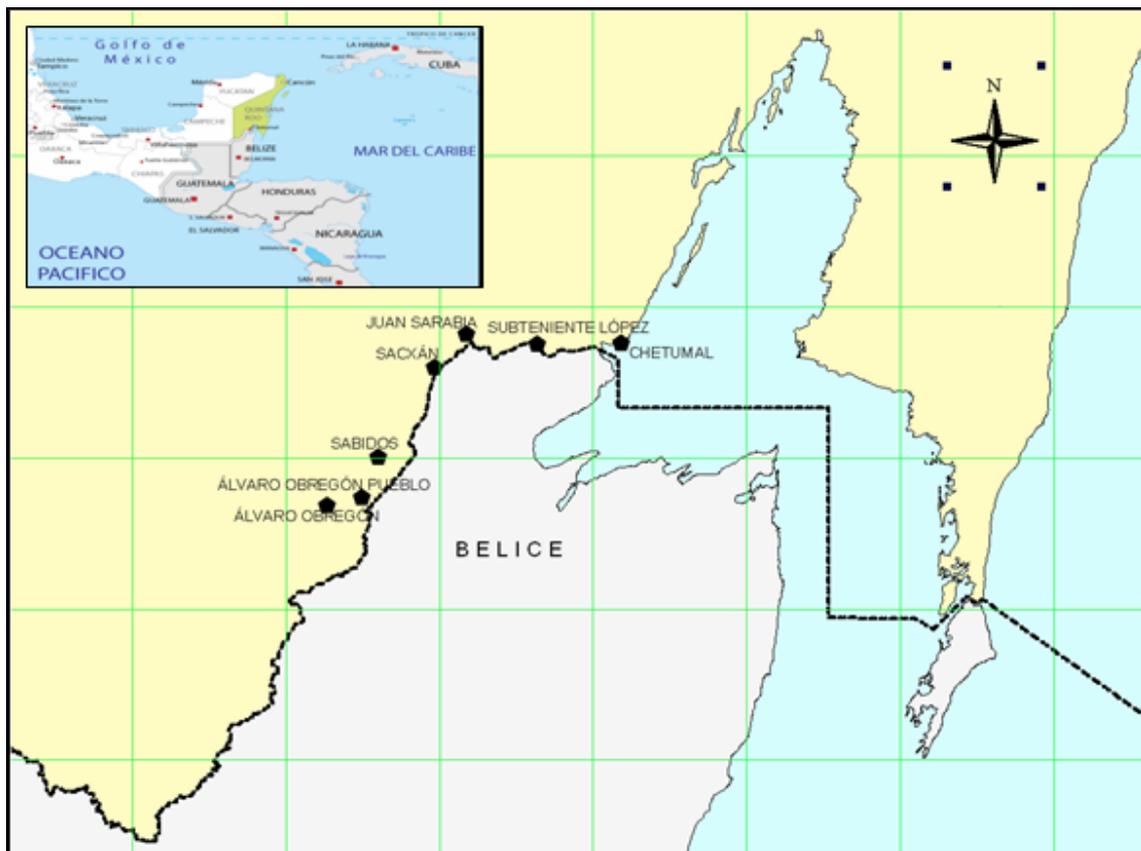


Figura1. Diseño de las estaciones de muestreo en el río Hondo.

2.3.1 Descripción del Área de Estudio

El río Hondo es un límite natural fronterizo con el país de Belice y Centro América que comunica al mar Caribe, pasa a través de varios cayos. Considerado como el único río del estado, es en realidad una falla geológica, mide 160 Km. de largo con una anchura y profundidad promedio de 50 a 10 metros respectivamente. Este río se inicia en Guatemala con el nombre de río Azul, a la altura de Dos Bocas toma el nombre de río Hondo debido a un aumento de su profundidad y cauce. Los ríos San Román, arroyo Sabido y arroyo Chac, son los aportes más importantes al cauce del río Hondo, el arroyo Chac desemboca en la Bahía. Las corrientes que se manifiestan son originadas por la acción de los vientos alisios del este y sureste, con dirección dominante nornoreste, velocidad promedio de 3 m/s durante

todo el año, por lo que la renovación y circulación de las aguas y sus nutrientes se consideran lentas (Secretaría Relaciones Exteriores, 1998).

El Río Hondo es el más importante de la zona debido a que la porosidad del suelo en la Península de Yucatán no mantiene con facilidad el agua en la superficie y sólo la filtra hasta llegar al manto freático, lo cual crea corrientes subterráneas que desgastan los muros de piedra caliza en las cavernas y al desplomarse dan origen a los cenotes, históricamente la única fuente de agua dulce en la región (INEGI, 1998).

Es navegable desde el lugar llamado Lagunitas hasta su desembocadura en la Bahía de Chetumal, la vegetación en sus márgenes está compuesta de Manglar de las especies *Rizophora mangle* y *Conocarpus erectus* principalmente, además de comunidades vegetales de tasiste y selva mediana generalmente.

En el río Hondo se encuentran tres especies acuáticas en peligro de extinción: el manatí (*Trichechus manatus*), el lagarto (*Crocodylus moreletti*) y la nutria del río de la especie (*Lutra longicaudis*), de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059 ECOL-1994.

En la ribera del río Hondo existen balnearios ejidales con uso recreativo con instalaciones mínimas, ubicados en Álvaro Obregón, Palmar, Ramonal y recientemente se inició el desarrollo que promueve el ecoturismo en la Unión, mismo que utiliza principalmente las paredes de los cenotes y las corrientes para kayak así como caminos para recorridos en bicicleta a través de la selva.

Entre las actividades productivas se encuentran de la siguiente manera;

Agrícola: El cultivo de la caña de azúcar, de la papaya chile jalapeño y de viveristas.

Ganadería: Se encuentra el ganado bovino.

Ovinocultura: la apicultura el ecoturismo y la acuacultura.

El clima de la región es de tipo AW (X') y AW2 (W'), que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano, según la clasificación climática de Koppen modificada por García (1973); la temperatura media anual oscila entre 25 y 27° C con una variación térmica < 5°C; la precipitación pluvial media es de 1249 mm anuales (INEGI, Cuaderno Estadístico Municipal de Othón P. Blanco, Quintana Roo, 1993). El periodo de lluvias comprende los meses de Mayo a Octubre, pero se presentan con más frecuencia e intensidad entre los meses de Junio a Septiembre.

2.4 Determinación en Mangle Rojo (Rizophora mangle).

Las muestras de mangle, específicamente la raíz de este, fueron tomadas en profundidades no superiores a los 2 metros y en las zonas donde se presenta la actividad humana para determinar la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Hg y Zn) y que estos presentan un peligro para las personas que realizan alguna actividad en esa zona.

2.4.1 Preparación de las muestras de Mangle.

Las muestras de mangle se trasladaron al laboratorio de inmediato, las muestras se secaron a temperatura ambiente, posteriormente se digirieron las muestras de mangle (ISO-11466, 1994; Lester, 1987; Scheiner, *et al* 1989) y se analizaron. Para determinar la concentración pseudototal de los metales se aplicó el procedimiento descrito en la norma de la International Organization for Standarization (ISO-11047, 1998), para su determinación por Espectrometría de Absorción Atómica con llama equipado a Generador de Hidruros.

Para la determinación de los metales pesados por EAA, se prepararon curvas de calibración distintas para cada uno de los elementos metálicos, conforme a su comportamiento químico y de acuerdo a las normas ya citadas. También se

utilizaron las mismas proporciones de dilución, con el objeto de tener la misma matriz y evitar al máximo las interferencias (Varian 1999; ISO-11466, 1994).

2.5 Determinación de parámetros físico-químicos en Agua

En el agua se determinaron parámetros físico químicos *in situ* como lo son conductividad del agua, la cantidad de Oxígeno disuelto así como la temperatura y el pH del agua. Estas mediciones se hicieron lo mas cercano posible al mangle que es el de mayor importancia en este estudio. Para esto se utilizaron aparatos ya mencionados en el capitulo 2.2 donde menciona los equipos utilizados para este estudio.

2.6 Determinación en Sedimento

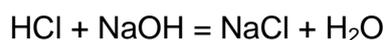
En el sedimento se determinaron parámetros importantes como lo son la humedad higroscópica, la cantidad de materia orgánica que presenta, así como la cantidad de carbonatos presentes, estas muestras también fueron tomadas lo mas cercano posible al lugar donde se encontraba el mangle que era la de mayor importancia para este estudio.

2.6.1 Determinación de parámetros físico-químicos en Sedimentos

Se determino la humedad higroscópica que se concentra en el sedimento, el agua higroscópica se elimino de la muestra calentando esta hasta 105 °C y la muestra secada a dicha temperatura ya no posee humedad higroscópica y se llama absolutamente seca.

Para la determinación de materia orgánica se utilizó el método mediante la perdida de peso como consecuencia de la incineración a 550 °C en la cual se garantiza la total liquidación del material orgánico y la total deshidratación, ya que los carbonatos y los cloruros a esta temperatura no se destruyen.

Para la determinación del %CaCO₃ se utilizó el método acidométrico, el cual está basado en la destrucción de los carbonatos por medio del ácido clorhídrico y la posterior valoración del exceso de ácido.



Para la determinación de los carbonatos se utilizó HCl 0,2N con normalidad exacta, indicador rojo de metilo, el cual se valoró con NaOH 0,1N hasta que el color rosado de la solución pase a amarillo pálido.

2.7 Tratamiento estadístico de los Datos

Se realizaron Correlaciones Lineales, Análisis de Componentes Principales (ACP) y Cluster con el programa XLSTAT-Pro, además de permitir hacer análisis de datos y modelización. Utilitarios para Excel fueron también añadidos con el fin de facilitar la manipulación de los datos. XLSTAT-Pro ofrece funciones que cubren el conjunto de las necesidades clásicas del análisis de datos y estadística.

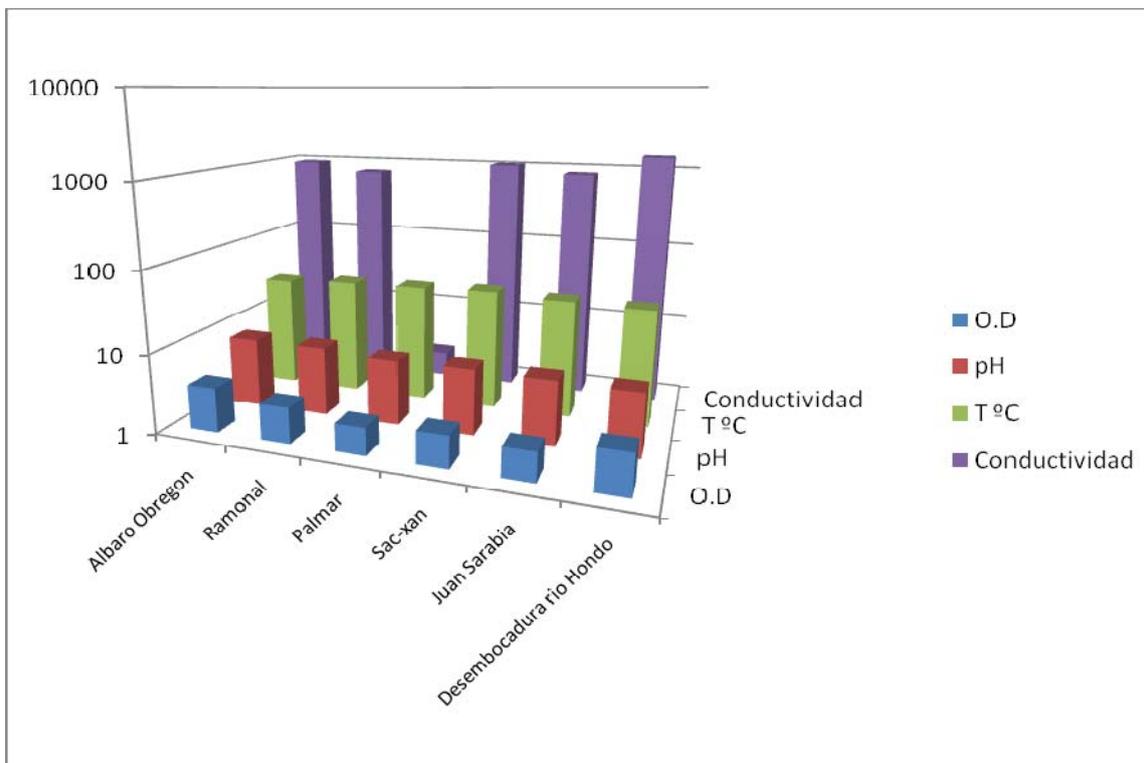
3.0 RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Paramentos físico-químicos en el agua del río Hondo

En la Tabla 1, se muestran los resultados de los parámetros físico-químicos de la columna de agua cercana al mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y analizadas *in situ* en los 6 puntos de muestreo en el 2008.

Tabla 1. Parámetros Físicoquímicos de los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	Temperatura (°C)	Conductividad (mS/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	pH
Álvaro Obregón	27.2	931	3.6	7.54
Ramonal	30.5	731	3.5	7.46
Palmar	31.5	2.13	2.2	6.50
Sac-Xan	33.5	1026	2.5	6.60
Juan Sarabia	30.7	836	2.3	6.40
Desembocadura río Hondo	29.3	1447	3.2	6.16



Grafica 1. Distribución espacial de los parametros fisico-quimicos analizados *in situ*.

En Grafica 1, se puede apreciar como se encuentran la distribución espacial de los parametros fisico-quimicos analizados en el agua *in situ* en los diferentes puntos de muestreo y se puede visualizar cuales son los lugares en los cuales estos parametros se encuentran mas elevados de acuerdo a los aportes de contaminación, de tal modo, podemos determinar cuales son las concentraciones más elevadas, moderadas y bajas de estos parametros.

3.1.1 Temperatura

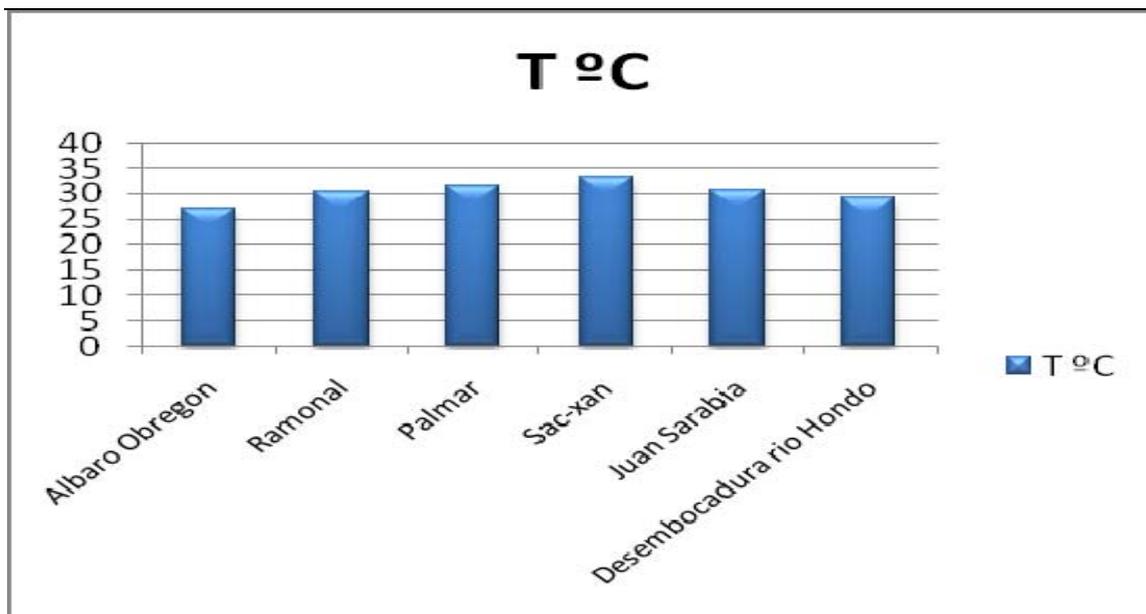
La temperatura del agua en el río está en función de la época del año, el caudal, la situación de la zona de muestreo, la hora del día de su determinación y la profundidad del medio. Generalmente no se observa mucha variación de la temperatura, las temperaturas más bajas se presentan en la temporada de lluvia, debido a que la temperatura del cuerpo de agua disminuye por las transferencias

de temperatura del ambiente (lluvia) al cuerpo de agua. Tenemos que tomar en cuenta que el estado de Quintana Roo, tiene un clima tropical y su temperatura media anual es de 32°C.

Y como se puede observar (Tabla 1.1) en los puntos de muestro la temperatura se encuentra entre lo permisible debido a que la temperatura mas alta se encontró en la estación de Sac-xan con una temperatura de 33.5 °C mientras que la mas baja se encontró en la estación de Álvaro Obregón (27.2 °C).

Tabla 1.1. Comportamiento de la T° en los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	Álvaro Obregón	Ramonal	Palmar	Sac-xan	Juan Sarabia	Desembocadura río Hondo
Temperatura °C	27.2	30.5	31.5	33.5	30.7	29.3



Grafica 1.1. Comportamiento de la temperatura en los puntos de muestreo

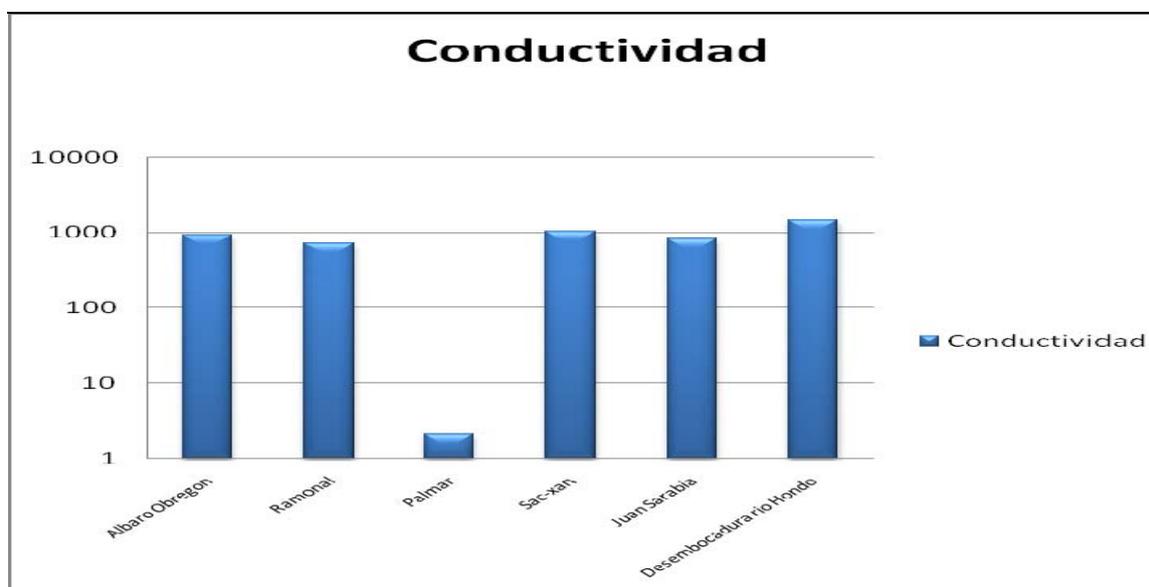
3.1.2 Conductividad

La conductividad en aguas naturales depende principalmente del tipo de terreno que atraviesa. Así, en terrenos fundamentalmente calizos suele ser superior a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en terrenos graníticos generalmente es menor de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tebbutt, 1999). No obstante, los afluentes procedentes de industrias y áreas urbanas incrementan notablemente este parámetro.

Los valores de conductividad para los puntos de muestreo seleccionados (Tabla 1.2), nos muestran que en el punto de muestreo 1 (Álvaro Obregón) y 4 (Sa-xan) presentan mayor conductividad y la más baja se encontró en el punto 3 ubicado en el balneario de Palmar ya que el agua es muy cristalina.

Tabla 1.2. Comportamiento de la Conductividad en los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	de Álvaro Obregón	Ramonal	Palmar	Sac-xan	Juan Sarabia	Desembocadura río Hondo
Conductividad	931	731	2.13	1026	836	1447



Grafica 1.2. Comportamiento de la conductividad en los puntos de muestreo

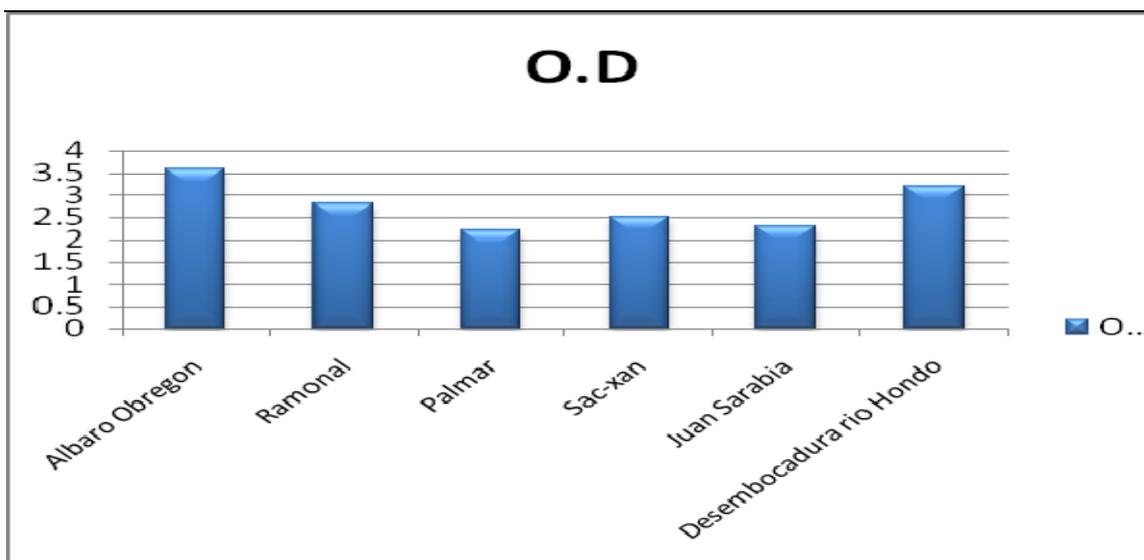
3.1.3 Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) en el agua es uno de los parámetros de mayor importancia en la evaluación de la contaminación, ya que estos niveles dependen de las actividades físicas, químicas y bioquímicas en su curso de agua. El oxígeno disuelto esta en función de la temperatura, la presión, la composición físico-química, la salinidad, la materia orgánica y caudal (Catalán et al. 1971; Marín, 1996). Las aguas superficiales no contaminadas suelen estar bien oxigenadas, e incluso sobre saturadas con niveles de oxígeno disuelto superiores a 8 mg/L, factor necesario para que exista vida acuática en las aguas superficiales (Tebbutt, 1999).

Los niveles de OD en el río Hondo (Tabla 1.3), presenta las siguientes variaciones; concentraciones mínimas hasta de 2.2 mg/L perteneciente al punto que se ubico en el poblado de Palmar, mientras que el valor máximo fue de 3.6 mg/L de OD en el punto ubicado en Álvaro Obregón. Generalmente, las concentraciones de este parámetro no presentan mucha variación. Sin embargo, podemos observar que las concentraciones de oxígeno disuelto se encuentran debajo de los 4 mg/L esto se debe a la época del año ya que este parámetro esta influenciada por la temperatura.

Tabla 1.3. Comportamiento del OD en los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	de Álvaro Obregón	Ramonal	Palmar	Sac-xan	Juan Sarabia	Desembocadura a rio Hondo
Oxígeno Disuelto	3.6	3.5	2.2	2.5	2.3	3.2



Grafica 1.3. Comportamiento del OD en los puntos de muestreo

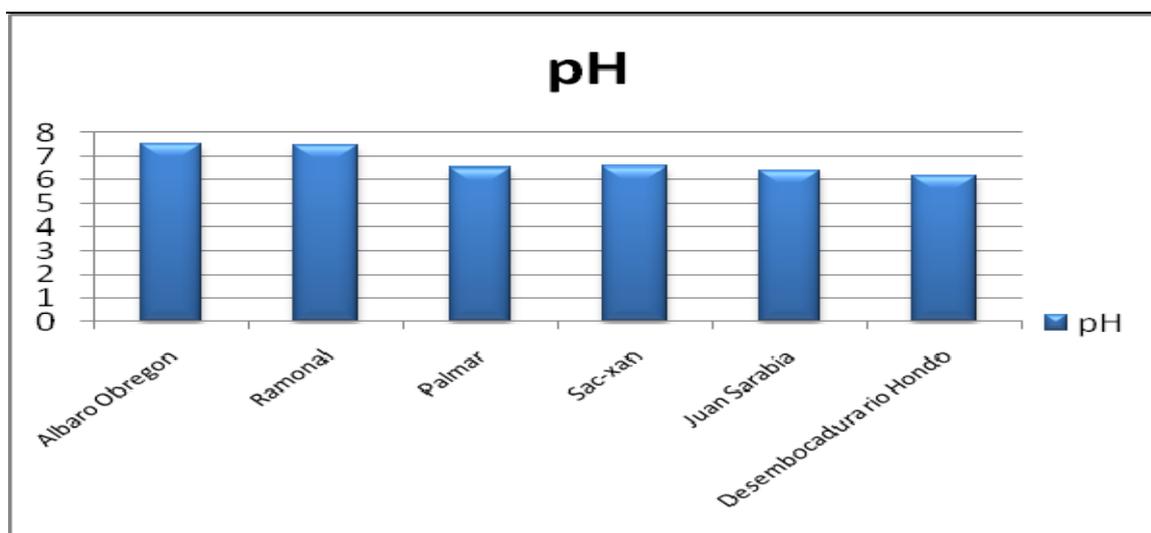
3.1.4 pH

El pH es un parámetro importante en el agua, un pH menor que 6 es fuertemente corrosiva para los metales. También pueden provocar reacciones de disolución de las sales presentes en las rocas (Martín, 1995). En lo que respecta a la contaminación antropogénica, el pH del agua varía debido a vertidos en particular (Catalán *et al*, 1971).

En la Tabla 1.4, se observan los valores de pH que oscilan entre 6.16 ubicado en el punto de la Boca del río y 7.54 ubicado en el punto en Álvaro Obregón. Para todos los muestreos el pH se mantiene dentro de los rangos permisibles, sin embargo, existe una muy buena correlación de este parámetro con los metales Cd, Pb y Zn, lo que podría favorecer a una biodisposición de los metales al cuerpo de agua. De tal forma, es evidente tal biodisposición debido a una ligera disminución del pH lo que significaría que tenemos un pH ligeramente ácido, este descenso podría deberse a la presencia de residuos domésticos, industriales y de las zonas dedicadas a la agricultura (Peñalosa Sánchez A. 2005).

Tabla 1.4. Comportamiento del pH en los puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	Álvaro Obregón	Ramonal	Palmar	Sac-xan	Juan Sarabia	Desembocadura rio Hondo
pH	7.54	7.46	6.5	6.6	6.4	6.16



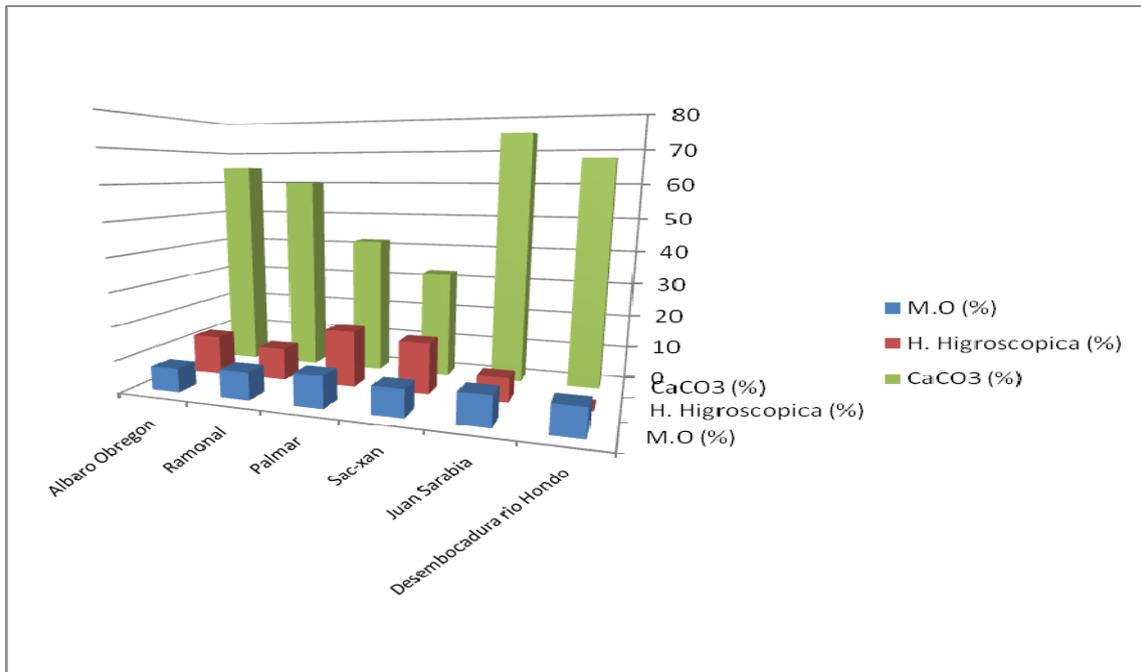
Grafica 1.4. Comportamiento del pH en los puntos de muestreo

3.2 *Parámetros físico químicos en muestra de sedimentos*

En la Tabla 2. Se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos del sedimento tomado cercano al ecosistema del mangle y analizadas en laboratorio en mayo del 2008.

Tabla 2. Distribución espacial de los parametro fisico-quimicos en sedimento.

Puntos de muestreo	Humedad Higroscópica (%)	Materia Orgánica (%)	CaCO ₃ (%)
Álvaro Obregón	11.92	7.3	65
Ramonal	9.91	8.41	60
Palmar	17.02	9.5	41.75
Sac-Xan	15.32	8.1	32.5
Juan Sarabia	7.15	8.83	74.5
Desembocadura rio Hondo	0.61	8.35	67.5



Grafica 2. Distribución espacial de las concentraciones de los parámetro físico-químicos analizados en sedimento.

En la Grafica 2, se puede apreciar como se encuentran la distribución espacial de los parámetros físico-químicos analizados en las muestras de sedimento tomadas en los diferentes puntos de muestreo y se puede visualizar cuales son los lugares en los cuales las concentraciones se encuentran más elevadas de acuerdo a sus aportes de contaminación, de tal modo, podemos determinar cuales son las concentraciones más elevadas, moderadas y bajas de estos parámetros.

3.2.1 CaCO_3

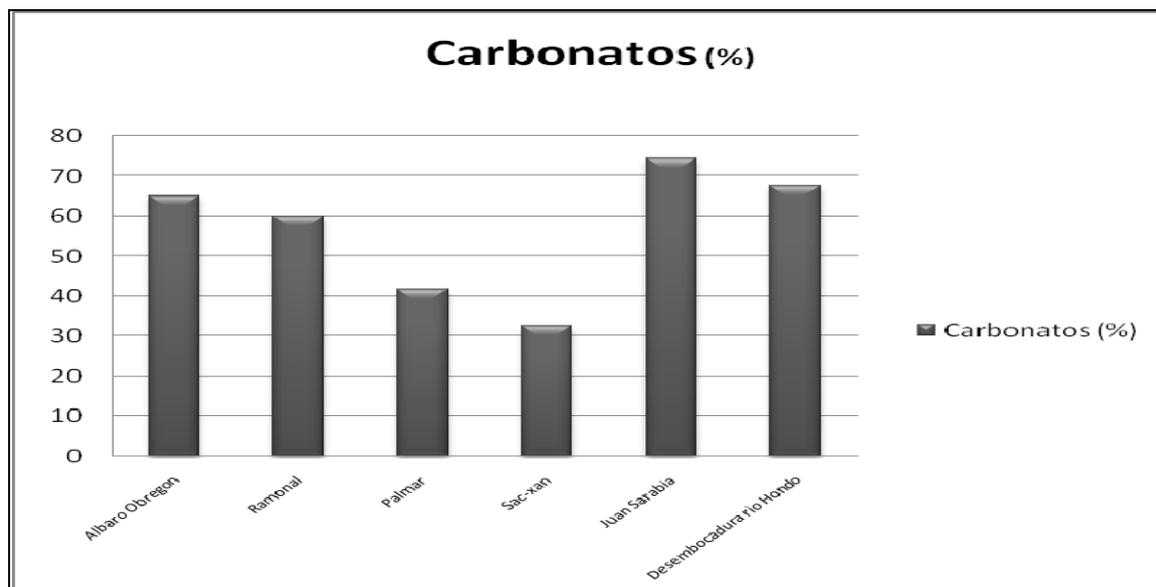
La composición química de las partículas producidas orgánicamente en el sedimento marino será normalmente de carbonato de calcio (CaCO_3) o de sílice (SiO_2). El aporte de material biológico (carbonato y sílice) está controlado por la abundancia relativa de los organismos que producen el material, el cual, a su vez, está relacionado con la disponibilidad de nutrientes necesarios para el crecimiento. La cantidad de organismos existentes depende de la luz solar y de los nutrientes.

Gran parte del río Hondo presenta niveles bajos de nutrientes, debido a que la mayor parte de ellos han sido ya utilizados por el fitoplancton existente. Los carbonatos puede quelatar componentes metálicos y difícilmente los libera al cuerpo de agua (González *et al.*, 2006)

El valor de los carbonatos (Tabla 2.1) oscila entre el 32.5 % ubicado en el punto de Sac-xan hasta el 74.5% ubicado en el punto de Juan Sarabia, en cual es una diferencia muy grade ya que son puntos vecinos y su diferencia es muy grande.

Tabla 2.1. Comportamiento de los Carbonatos en los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Álvaro Obregón	Ramonal	Palmar	Sac-xan	Juan Sarabia	Desembocadura río Hondo
CaCO ₃ (%)	65	60	41.75	32.5	74.5	67.5



Grafica 3.1. Comportamiento de los carbonatos en los puntos de muestreo

3.2.2 Humedad Higroscópica

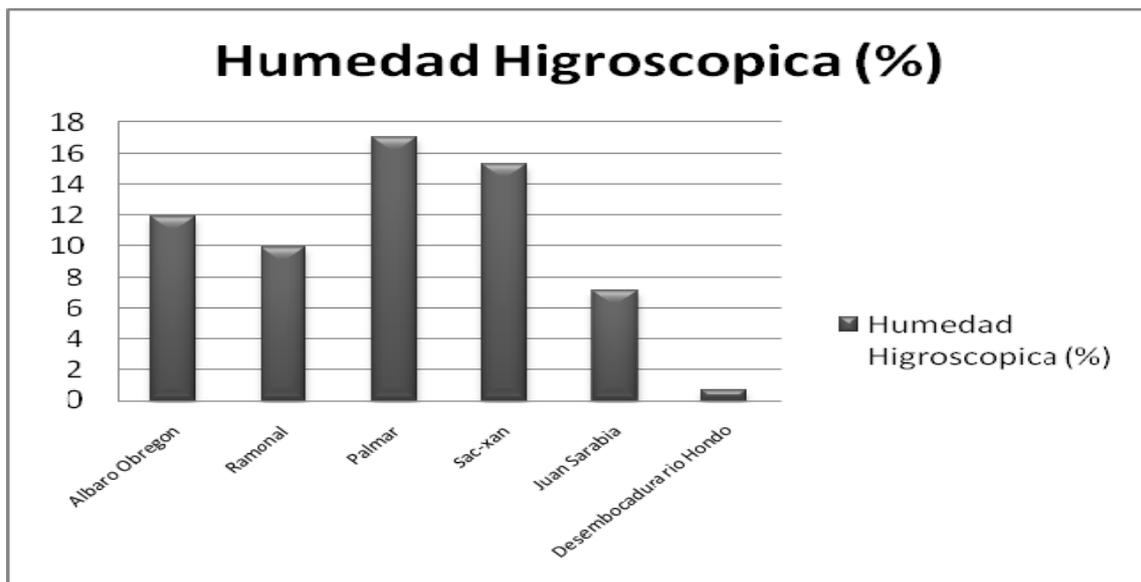
La humedad higroscópica en g agua.g^{-1} suelo seco o %, es una lamina de agua que puede rodear partículas de tamaño muy fino. El peso de muestras con un elevado contenido de partículas finas, puede verse exagerado debido al peso de la agua higroscópica.

Los contenidos de agua higroscópica para los perfiles estudiados se muestran en la Tabla 2.2. En todos los perfiles el contenido hídrico higroscópico, desciende marcadamente en profundidad, Así tal como se indican los resultados el almacenamiento de esta agua puede estar mas relacionado con el contenido de la materia orgánica que con las texturas mas finas ya que la estación que presenta el valor mas elevado de humedad higroscópica y a su vez coincide con el de mayor contenido en materia orgánica.

En los resultados obtenidos en la humedad higroscópica (Tabla 2.2), los porcentajes obtenidos al analizar las muestras de sedimento nos indica que el mínimo fue de 0.61 % en el punto ubicado en la Desembocadura del rio Hondo, mientras que el valor máximo obtenido en las muestras fue de 17.02 % estuvo en el punto ubicado en Palmar

Tabla 2.2. Comportamiento de la H. Higroscópica en los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Álvaro Obregón	Ramonal	Palmar	Sac-xan	Juan Sarabia	Desembocadura río Hondo
Humedad higroscópica	11.92	9.91	17.02	15.32	7.15	0.61



Grafica 3.2. Comportamiento de la Humedad higroscópica en los puntos de muestreo.

3.2.3 Materia Orgánica

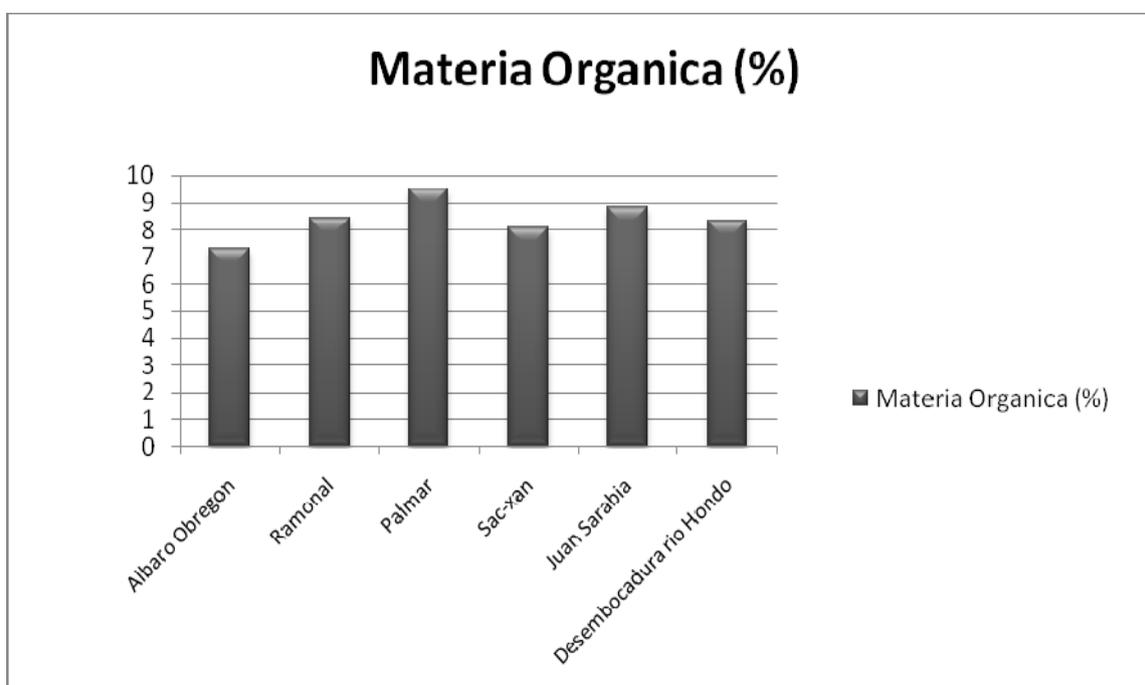
La materia orgánica dentro de un cuerpo de agua es importante. Esta puede llegar por corrientes de agua en el caso de un río, por la descomposición por bacterias y estas son depositadas en él como sedimento y también las descargas domésticas que contienen una gran cantidad de materia orgánica y nutrientes, que al llegar a los cuerpos receptores los eutrofican, es decir producen una sobrenutrición que contribuye al crecimiento de algas, microorganismos, plancton y animales bentónicos.

En los resultados obtenidos en materia orgánica (Tabla 2.3), los porcentajes obtenidos al analizar las muestras de sedimento nos indica que el mínimo fue de 7.3% en el punto ubicado en Álvaro Obregón, mientras que el valor máximo obtenido en las muestras fue de 9.5% estuvo en el punto ubicado en Palmar. No obstante, las concentraciones encontradas en los Juan Sarabia y la desembocadura del río Hondo se asemejan a las encontradas en Palmar ya que de acuerdo a la zona de estudio esto normal aunque con un poco de variación en el ecosistema, esta se puede convertir en una zona eutrofizada rica en nutrientes

(Peñaloza, 2005), la materia orgánica engloba diferentes componentes metálicos (ácidos fúlvicos y ácidos húmicos) y dificulta la biodisposición del mismo, solamente un cambio del pH podría liberar estas estructuras metálicas al medioambiente.

Tabla 2.3. Comportamiento de la M.O en los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Álvaro Obregón	Ramonal	Palmar	Sac-xan	Juan Sarabia	Desembocadura río Hondo
Materia Orgánica (%)	7.3	8.41	9.5	8.1	8.83	8.35



Grafica 3.3. Comportamiento de la M.O en los puntos de muestreo

3.3 Metales pesados

Los resultados de los metales pesados analizados en las muestras de mangle se presentan en la Tabla 3. Nos muestra los valores obtenidos en los diferentes puntos de muestreo localizados en la red de muestreo del río Hondo, para el estudio de la bioacumulación de metales pesados (Hg, Cd, Pb y Zn) en el mangle

rojo (*Rhizophora mangle*) para comprender como estos metales pesados se están incorporando al medio y que riesgos esta corriendo la población que utiliza este ecosistema como forma de vida, recreativa, pesca, etc.

Tabla 3. Concentraciones de los metales pesados analizados en muestras de Mangle del Río Hondo.

Puntos de muestreo	Hg	Cd	Pb	Zn
Álvaro Obregón	3.00	15.00	32.00	55.00
Ramonal	2.90	15.00	35.00	42.00
Palmar	3.00	14.00	25.00	36.00
Sac-xan	2.40	6.00	22.00	32.00
Juan Sarabia	4.00	4.00	16.00	29.00
Desembocadura río Hondo	2.50	7.00	17.00	27.00

Concentraciones de metales pesados en mangle mg/L (n=3)

Generalmente, las concentraciones de los metales estudiados en el mangle rojo presentan una mayor bioacumulación en el punto de muestreo 1 (Álvaro Obregón) que fue en la que se encontró una mayor concentración de Cd, Pb y Zn que en los demás puntos, seguidamente podemos observar que las concentraciones menores de los metales se encontraron en, los puntos de muestreo de Juan Sarabia y en Desembocadura del río Hondo, en los demás puntos de muestreo; Ramonal, Palmar y Sac-xan, se encontraron las concentraciones medias de los metales analizados.

3.3.1 Mercurio (Hg)

Como nos muestra la Tabla 3, en el caso del mercurio el valor mínimo obtenido fue de 2.4 mg/L que se encuentra en el punto ubicado en Sac-xan mientras que el valor máximo obtenido durante el análisis fue encontrado en el puntos de Juan Sarabia que presenta una concentración de 4 mg/L. La liberación de mercurio

desde fuentes naturales había permanecido en el mismo nivel a través de los años, las concentraciones encontradas de este metal, aun no son alarmantes, todavía las concentraciones de mercurio el ambiente están creciendo debido a la actividad humana. Este metal es uno de los más tóxicos cuando se trata de cuerpos de agua, el mercurio está en forma sales que son muy solubles en agua. Los productos de la cría de ganado, la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales pueden también contener eminentes cantidades de mercurio. Todo el mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de mercurio en el agua se incrementarán y como en este caso la zona en donde se realiza este estudio es una zona donde las actividades primarias son la agricultura y ganadería esto podría causar algún daño en un futuro. Si se siguen utilizando este tipo de compuestos que contienen mercurio.

3.3.2 Cadmio (Cd)

En el caso del cadmio, se encontró que la concentración mínima obtenida al analizar la muestras fue de 4 mg/L ubicado en el punto de Juan Sarabia, mientras que la concentración mas alta fue 15 mg/L, encontrada en 2 puntos de muestreo ubicados en Álvaro Obregón y Ramonal, esto podría deberse a su cercanía y/o al estar más en contacto a la zona cañera y sus derivados agroquímicos que probablemente van a parar a esos sitios. El Cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido y arrastrado por los lodos. Estos lodos ricos en Cadmio pueden contaminar las aguas superficiales y los suelos, es por ello la importancia del mangle en la bioacumulacion de este metal sumamente peligroso para la salud de los humanos. También, el cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo (Gonzales JL. *et al.*, 2006). Los suelos que son ácidos aumentan la liberación del Cadmio y por lo tanto puede ser bioacumulable en los vegetales. No obstante esta bioacumulación favorece al ecosistema y evita un daño potencial para los animales que habitan en el mismo.

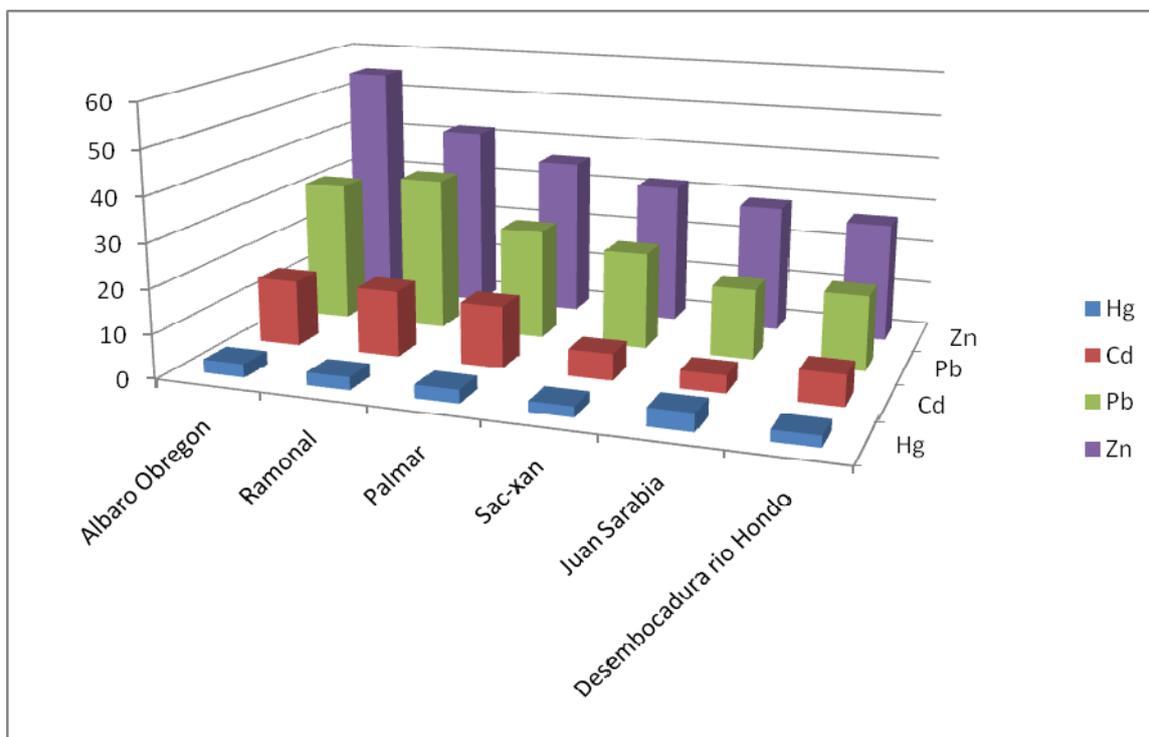
3.3.3 Plomo (Pb)

Para el caso del Pb se encontró que la concentración mínima para este metal fue de 16 mg/L ubicado en el punto de Juan Sarabia, mientras que las concentraciones máximas fueron encontradas en Ramonal (35 mg/L) y en el punto de muestreo ubicado en Álvaro Obregón encontrándose una concentración media de 32 mg/L. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida, agua y aire. Actividades como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también contribuyen. Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbadas cuando interfieren con el Plomo. El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen. El plomo limita la síntesis clorofílica de las plantas. No obstante las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo, hasta 500 mg/L. Concentraciones más altas perjudican el crecimiento de las plantas, mediante la absorción por parte de las plantas, el plomo se introduce en la cadena alimenticia y este puede ocasionar daños a las personas que habitan en esas zonas.

3.3.4 Zinc (Zn)

El Zn es uno de los metales que se encuentran con mayores concentraciones, la mínima concentración fue de 27 mg/L ubicado en el punto que se encuentra en la desembocadura del río Hondo, mientras que la máxima concentración fue ubicada nuevamente en el punto de muestreo que se encuentra en Álvaro Obregón (55 mg/L), muy semejante a la concentración encontrada en el punto de muestreo ubicado en el poblado de Ramonal teniendo una concentración de 42 mg/L. Es evidente comentar, que las concentraciones de Zn pueden estar disparadas debido a varios factores; uno, por ser un metal contenido en mayores concentraciones en agroquímicos, dos, por ser un metal que lo encontramos hasta

en el agua potable y también, debido a la estructura mineralógica de la península yucateca (Back W. 1974).



Grafica 3. Distribución espacial de las concentraciones de metales pesados (mg/L).

En Grafica 3, se puede apreciar como se encuentran la distribución espacial de los metales en los diferentes puntos de muestreo y se puede visualizar cuales son los lugares en los cuales las concentraciones se encuentran mas elevadas de acuerdo a sus aportes de contaminación, de tal modo, podemos determinar cuales son las concentraciones más elevadas, moderadas y bajas de estos metales.

3.4 *Análisis de correlación*

Se les realizó análisis de correlación lineal de Pearson a los resultados de las determinaciones analíticas del mangle, agua y sedimentos del río Hondo, con la

finalidad de establecer los grupos de asociaciones existentes entre las variables analizadas (parámetros fisicoquímicos y metales pesados).

Tabla 4. Correlaciones Pearson de los metales y parámetros físico-químicos 2008.

Variables	Pb	Cd	Zn	Hg	pH	T °C	O.D	Conductividad	H. Higroscópica (%)	M.O (%)	CaCO ₃ (%)
Pb	1										
Cd	0.897	1									
Zn	0.850	0.800	1								
Hg	0.195	0.179	0.018	1							
pH	0.935	0.750	0.914	0.019	1						
T °C	0.298	0.414	0.593	0.168	0.434	1					
O.D	0.363	0.337	0.580	0.339	0.487	0.819	1				
Conductividad	0.318	0.500	0.205	0.305	0.130	0.262	0.588	1			
H. Higroscópica (%)	0.426	0.407	0.381	0.075	0.312	0.436	0.402	-0.735	1		
M.O (%)	0.355	0.124	0.584	0.305	0.571	0.513	0.838	-0.637	0.148	1	
CaCO ₃ (%)	0.130	0.108	0.061	0.576	0.077	0.723	0.412	0.387	-0.766	0.187	1

En **negrilla**, valores significativos al umbral $\alpha=0.050$ (prueba bilateral)

Los resultados de las correlaciones que se muestran en la Tabla 4, nos arroja las siguientes asociaciones más significativas entre metales pesado y los parámetros fisicoquímicos estudiados: Cd-Pb; Zn-Pb, Cd; pH-Pb, Cd, Zn; OD-T; Humedad Higroscópica-conductividad; MO-OD; y CaCO₃-T, Humedad Higroscópica.

La correlación nos señala que el Cadmio se encuentra relacionado con el Pb, sí como el Zn esta muy relacionado con el Pb y el Cd, la relación Cd y Zn es muy importante ya que según investigaciones (Castañe. *et al* 2003) el Zn aumenta la toxicidad del cadmio para los invertebrados acuáticos y al estar estos bioacumulados en el mangle evita que los peces tengan contactos con el.

También se puede apreciar que el pH siendo un parámetro muy importante se encuentra relacionado con tres de los cuatro metales estudiados (Pb, Cd, y Zn) a excepción del mercurio. La solubilidad de los metales depende de la temperatura y

del pH del agua en estudio. Cuando el pH es casi neutro, los metales son casi insolubles en el agua, lo contrario, cuando el pH es ácido los metales son extraídos y disueltos o intercambiables, por lo que la solubilidad de los metales en un cuerpo de agua aumenta conforme aumenta la acidez.

Para el caso de la temperatura, se puede decir que este parámetro no se encuentra correlacionada con ningún elemento metálico, podría deberse a que la temperatura no mostró cambios significativos, esto no significa que deja de ser importante ya que la temperatura puede influir en la captación y, por ende, en los efectos tóxicos del cadmio en los organismos acuáticos, también influye en la oxido-reducción de un cuerpo de agua y así muy fácilmente la liberación y movilización de algún metal pesado. Al aumentar la temperatura aumentan la captación y los efectos tóxicos, mientras que el aumento de la salinidad o de la dureza del agua los hace disminuir.

En el caso de la materia orgánica, esta no visualiza la relación del mismo con algún metal, según autores la materia orgánica disuelta en las aguas naturales tiene influencia en la especiación y biodisponibilidad de los metales. La mayoría de los autores expresan la hipótesis de que la Materia Orgánica Disuelta natural actúa como un ligando, reduciendo la toxicidad por complejación del metal de una forma similar a ligandos sintéticos tales como EDTA. En la Feria Internacional del Amazona FIAM investigadores asumieron implícitamente que los complejos hidrofílicos metal-DOM no contribuyen directamente a la toxicidad del metal por su incapacidad de atravesar las barreras biológicas. Aunque la MO esta relacionada con la cantidad de OD y por último tenemos que el CaCO_3 esta relacionado con la temperatura y con la cantidad de MO.

3.5 Análisis de Componentes Principales

Los resultados obtenidos del Análisis de Componentes Principales (ACP) para las muestras de mangle, agua y sedimento se representan en las Figuras 2 y 3. En la

Figura 2, se puede observar que se explica el 74.27 % de la varianza total a través de dos componentes principales:

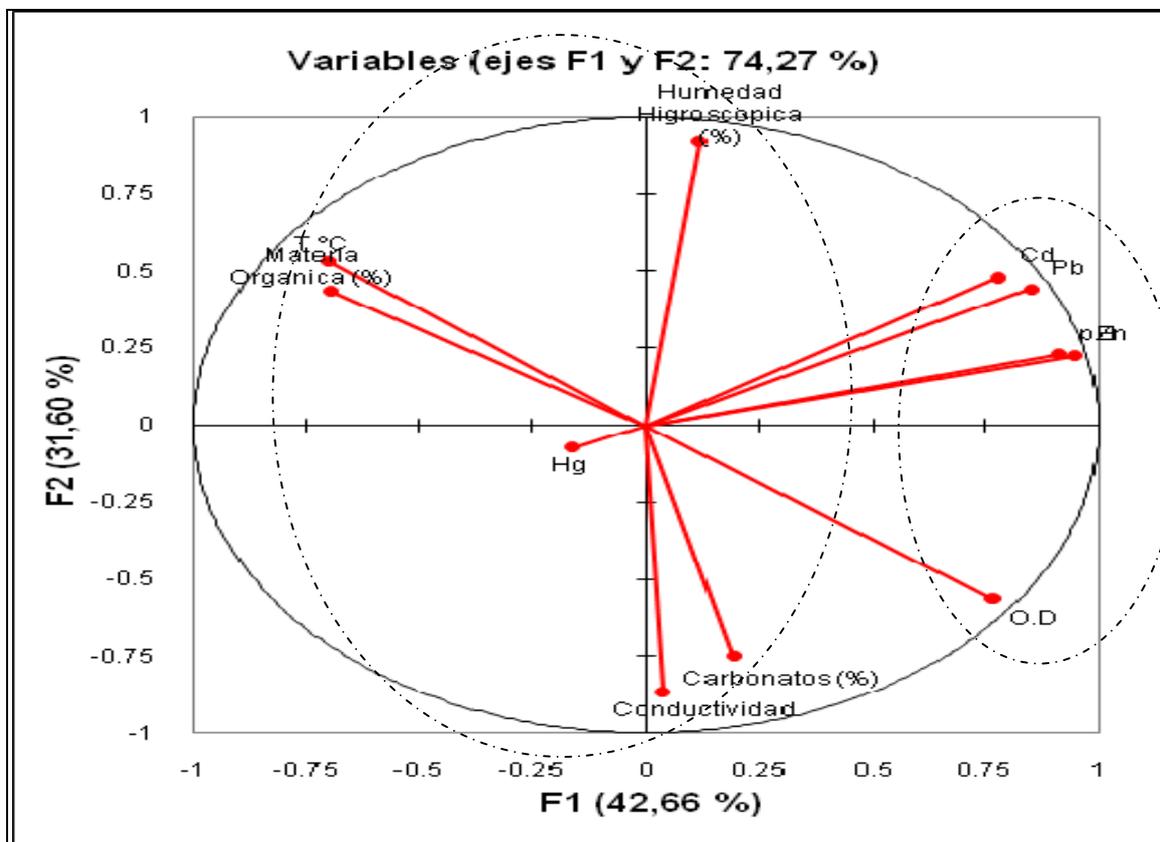


Figura 2. Análisis de Componentes Principales en mangle rojo, agua y sedimento del Rio Hondo 2008

En la Figura 2, nos muestra el Análisis de los Componentes Principales (ACP). El primer componente principal (CP-I), está definido por 3 metales (Cadmio, Plomo y Zinc), 2 parámetros medidos en sedimento (carbonatos y humedad higroscópica) y 3 parámetros medidos en agua *in situ* (Conductividad, OD y pH), el cual explica el 42.66% de la varianza total. El segundo componente principal (CP-II) está definido por un metal (Mercurio), el parámetros MO medido en sedimento y el parámetro T°C medido *in situ*, estos explican el 31.60% de la varianza total. Los vectores de estos parámetros se desplazan en otra dirección respecto a los que definen al primer componente. Según (Tsai, *et al.*, 1998) cuando los metales están agrupados, indican que tienen la misma fuente de contaminación. Por consiguiente, en la Figura 3, podemos observar que el punto de muestreo 1

(Álvaro Obregón) y 2 (Ramonal) pertenecientes al componente principal, presentan las concentraciones más elevadas de todos los metales y la relación lineal con el pH, OD, y Carbonatos, esta elevación de sus concentraciones podría deberse al arrastre de componentes agroquímicos del Ingenio Álvaro Obregón hacia estos puntos de muestreo más cercanos, ya que el río acarrea aguas residuales y residuos agroquímicos provenientes de los ingenios de México y Belice. No obstante, el componente principal II, está constituido por Hg y dos parámetros fisicoquímicos (T° y MO), en el se presentan las concentraciones más bajas de este análisis.

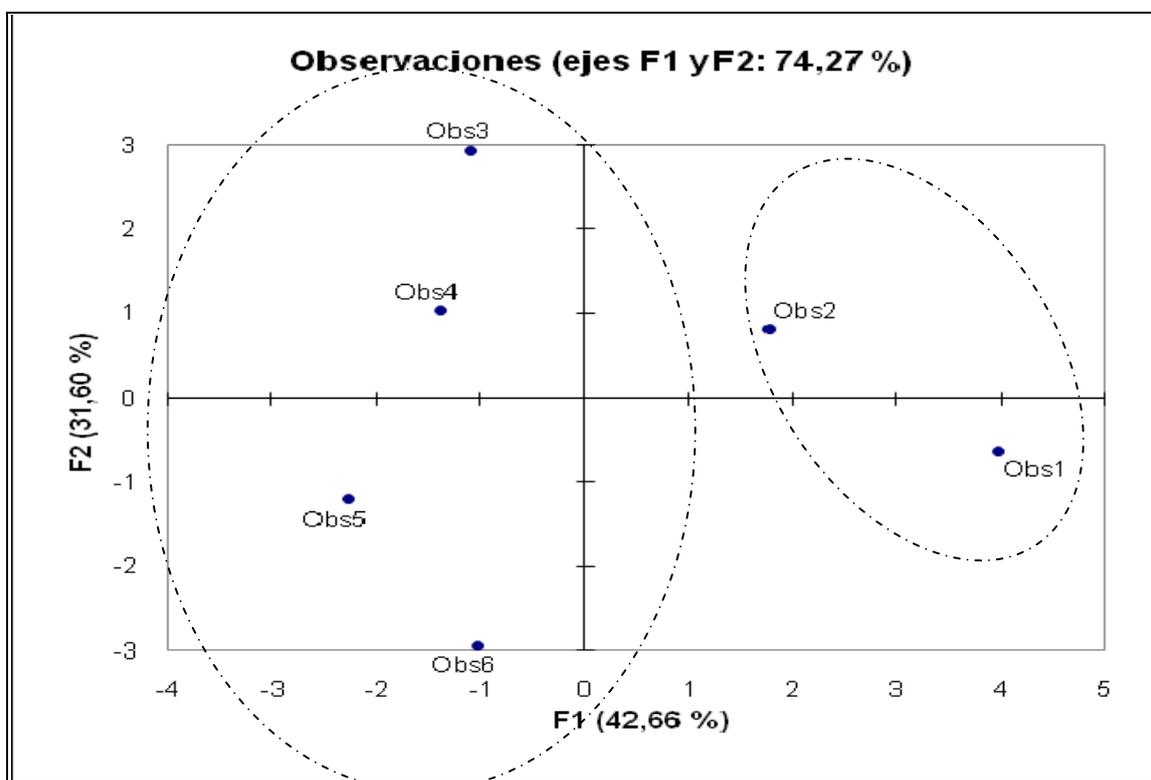


Figura 3. Analisis factorial de los componentes principales

Con el análisis factorial (Figura 3) de los componentes principales se puede visualizar dos grupos de metal-parámetro y la relación que guardan los puntos de muestreo con estos.

1. Primero, esta constituido por los metales Cd, Pb y Zn, y los parámetros HH, OD, Carbonatos, Conductividad y pH, así mismo, podemos decir que se relacionan estos parámetros con los puntos de muestreo 1 y 2, y es donde se encuentra la mayor concentración de los parámetros analizados.

2. El segundo grupo está formado por los parámetros T°, MO y el Hg, así como, los puntos de muestreo 3, 4, 5, y 6 en este componente principal II, se encuentran las concentraciones más bajas de este estudio.

3.6 *Cluster*

En la Figura 4, se corrobora la relación que existe entre los puntos de muestreo con respecto a todos los parámetros analizados en la ribera del río Hondo, como podemos observar, los puntos que presentan mayor similitud son los puntos 1, 2, 4 y 5. No obstante, estos puntos de muestreo son disímiles a los puntos de muestreo 3 y 6, en este análisis estadístico se correlacionan los parámetros fisicoquímicos y metales con los 6 puntos de muestreo, por ello, nos refleja una similitud y disimilitud de los puntos de muestreo, esto significa hay cierta relación de las fuentes de contaminación (descargas) en diferentes zona y ejidos encontrados en estas franjas de estudio.

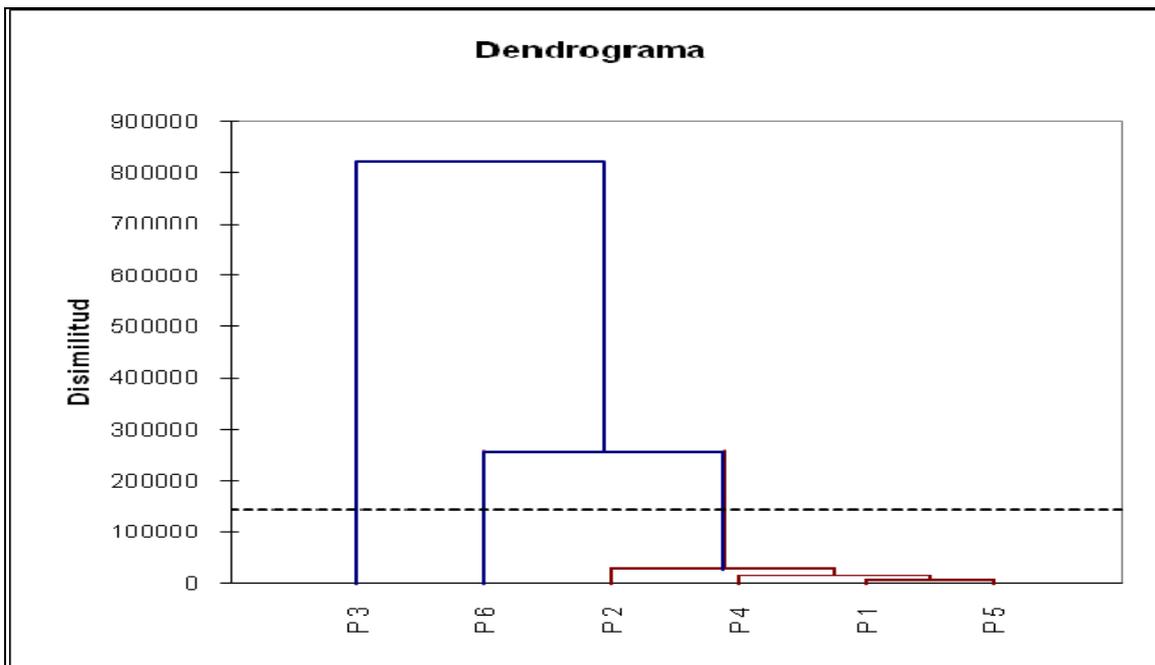


Figura 4. Disimilitud entre los puntos de muestreo

4.0 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, permiten disponer por primera vez, de información acerca de la importancia del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) como indicadores, lo cual es de importancia para el conocimiento acerca de la contaminación inorgánica de éste cuerpo de agua. Para ello:

1. Se estudió al mangle rojo (*Rhizophora mangle*) evaluando la concentración bioacumulada y poder utilizarlo en un futuro como un organismo bioindicador, así como un organismo de recuperación de áreas contaminadas de metales pesados.
2. Se hizo uso de técnicas de análisis estadístico multivariado para caracterizar la zona de muestreo y determinar la influencia de los parámetros analizados, así como conocer cuales son las zonas más contaminadas por materia orgánica y CaCO_3 . A partir de estos resultados se estableció que la zona establecida entre los puntos 5 (Juan Sarabia) y 6 (Desembocadura río Hondo) resultaron ser las zonas más influenciadas por la contaminación.
3. Se encontró que los principales metales contaminantes resultaron el Cd, Pb y Zn ya que fueron los más bioacumulables en el Mangle, atribuyéndose su origen a las actividades de los ingenios en el caso del cultivo de caña, actividades agrícolas como el cultivo de la papaya y chile jalapeño, las actividades ganaderas. Todas estas acarrearán compuestos agroquímicos por medio del arrastre de aguas y se le suman las actividades realizadas algunas personas que viven en las orillas del río Hondo como lo son, el lavado de ropa, de utensilios de cocina y por último esta la aportación de las concentraciones pseudototales que pudieran ser de origen litogénico.

-
-
4. Se encontró que los parámetros físico-químicos no presentan mucha variación y por lo que no es factor atribuible a la toxicidad de los metales o su biodisponibilidad (movilidad de los metales). Observándose que las temperaturas se encontraron en niveles óptimos para la conservación de la vida acuática del ecosistema y el pH se encuentra en los niveles óptimos de aceptación en este ecosistema de estudio.

 5. Los sedimentos del río Hondo presentan un elevado contenido de Carbonatos al igual que la Materia Orgánica, que podría deberse a la estructura geológica predominante en Cuarzo, Calcita y Montmorillonita (González, J.L. *et al.*, 2006) las fases mineralógicas más predominantes en los sedimentos del río Hondo.

5.0 RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir un estudio detallado de la contaminación por metales pesados en el Mangles Rojo, así como en el río Hondo, aplicando nuevas técnicas para su determinación tales como Horno de Grafito e ICP, para así poder determinar elementos a nivel traza.

Es importante y necesario conocer el movimiento, arrastre, especie y biodisponibilidad de estos metales, ya que se pueden encontrar en nuestra área de estudio en una forma biodisponible y podría biomagnificarse en alguna de las especies marinas y entrar a otras cadenas tróficas, donde también pueda afectar al hombre

Se debe llevar acabo un muestreo más amplio donde no solo se estudie este Mangle en el río Hondo, sino también en la Bahía de Chetumal y las lagunas costeras que desembocan en estos ecosistemas.

6.0 BIBLIOGRAFIA

- Ansari, T.M., I.L. Marr, N. Tariq. 2004. Heavy Metals in Marine Pollution Perspective A Mini Review. Journal of Applied Sciences
- Back W., Hanshaw B. 1974 "Hidrogeochemistry of the Northern of the Yucatan Peninsula, Mexico with a Section on Mayan Water Practices". Field Seminar on Water and Carbonate Rocks of the Yucatan Peninsula, Mexico. USA: New Orleans Geological Society; 53-54.
- Buffle, J. 1984. Interpretation of trace metal complexation by aquatic organic waters. Nijhoff/Junk Pub. 301-316,
- Castañe P. M. 2003, Influencia de la Especiación de los Metales pesados en Medio Acuático como determinante de su toxicidad, España
- Catalan L. J. 1971. Contaminación física de las aguas. En contaminación e Ingeniería Ambiental, III.5 Ed.FICYT Oviedo pp. 131-151.
- Duffus, J.H. 1984. Toxicología Ambiental, Omega, Edimburgo 82-94.
- Faramarz H, La dureza del agua "1era parte, definición e influencia sobre los peces y plantas.
- Foroughbakhch P. R., Abimael E. Céspedes C. Marco A. Alvarado V., Adriana Núñez G. Mohammad H. Badil. 2004. Aspectos Ecológicos de los Manglares y su Potencial como Fitorremediadores en el Golfo de México.

-
-
- García Ríos, V.Y. 2001. Especiación de metales pesados en sedimentos de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, y la acumulación en el tejido muscular de bagres (*Ariopsis assimilis*). 143-149
 - Gómez Lara, J. M. C. 2003. El fascinante mundo del manglar Chetumal, Quintana Roo.
 - González J.L. Carrión, J.M. y Díaz, C. 2006. Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. Rev. Soc. Quím. Perú. 72(1).
 - INEGI, 1998. Carta de aguas superficiales 1:50 000, Chetumal. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
 - INEGI cuaderno estadístico municipal de Otón p. blanco, Q. roo.
 - International Standard Soil Quality, ISO 11047. 1998. Determination of Cadmium, Chromium, Cobalt, Cooper, Lead, Manganese, Nickel, and Zinc in Aqua Regia Extracts of Soil – Flame and Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Methods
 - Lesaca, R.M. 1977. Monitoring of heavy metals in Philippine rivers, bay waters and lakes. Symp. Proc. Int.
 - Lester J.N. 1987. Heavy Metals in wastewater and sludge Treatment Processes, Vol. I, Sources, Analysis and Legislation, Ed. CRC Press, 183 pp., EUA
 - Lilia A. 1990. Curso Básico de Toxicología Ambiental, 311 pp.

-
-
- Marcovecchio, J. E., Moreno, V. J. & Pérez, A. 1991. Metal accumulation in tissues of sharks from Bahía Blanca estuary, Argentina. *Mar. Environm. Res.*, 31: 263-274.
 - Marín, R. 1995. Análisis de las aguas y ensayos de tratamiento. Ed. PACMER, S.A. Barcelona. 225,
 - Marín, R. 1996. Análisis de las aguas y ensayos de tratamiento. Ed. PACMER, S.A. Barcelona. 225 pp.
 - Martínez J.M. 1998. Ecología de los sistemas acuícolas.
 - Mercado Burgos M. 2005. Relación entre NDVI y Contenido de Metales en *Rhizophora mangle* en el Suroeste de Puerto Rico.
 - Navarro Aviñó J.P, Aguilar Alonso I, López Moya J. R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas.
 - NOM-059-ECOL/1994. Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos que determinan las especies y subespecies de flora y fauna silvestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial de la Federación, 16/05/1994. México.
 - Ojeda Calderón A. L. 2002. Determinación de metales pesados en algas *Eteromorpha* y *polissyphonia* en la zona costera de la Bahía de Chetumal.
 - Ortiz, M.C. 1997. Estudio emergente sobre la mortalidad de Bagres en la Bahía de Chetumal. Secretaria de Infraestructura, Medio Ambiente y pesca,

Gobierno del Estado de Quintana Roo, El Colegio de la Frontera Sur-
Unidad Chetumal, Q. Roo.

- Peñaloza Sánchez A. M. 2005. Estudio de contaminación por metales pesados (Pb, Hg, Cd, As y Zn) en la columna de agua y en sedimento de río hondo.
- Pérez López M. 2003. Niveles de Plomo y Cadmio en agua marina y lapas (*Patella vulgata*) de la ría de Vago. España
- Repetto, E., Mato, M. 1999. El agua, una sustancia diferente e indispensable. Ed. Taravilla, Madrid, 355 pp.
- Rojas, A., Morales, B. 2002. Metales en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. Contribución de la ciencia MIC. 133-138.
- Scheiner, B.J., Doyle, F.M. & Kawatra, S.K. 1989. Biotechnology in Minerals and Metal processing. Society of Mining Engineers Inc., Littleton Company 209 pp.
- Soil Quality, ISO 11466. 1994. Extraction of traces metals soluble in Aqua Regia.
- SER. 1998. Acuerdo Binacional México-Belice. Secretaria de Relaciones Exteriores. México, D.F. ([www.sre.org/acuerdos internacionales](http://www.sre.org/acuerdos_internacionales)).
- Tebbut, H. 1993. Fundamentos de control de la calidad del agua. Ed. Limusa 239 pp. México.

-
- Tsai, L.J. 1998. Fractionation of Heavy metals in Sediments cores from the EII-Ren River Taiwan. *Water Science Technology* 37, 217-224,
 - Word, J. and Mearns, A. 1979. 60-meter survey control off southern California. Southern California Coastal Water Research project. T.M. No 229.
 - Yáñez A., A., R.R. Twilley y A.L. Lara D.1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques*.

ANEXOS

ANEXOS. PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES PARA EL ANÁLISIS DE PLOMO, CADMIO, MERCURIO, ARSÉNICO Y ZINC CON ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Tabla I. Plomo (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR μL	SOLVENTE ml	MATRIZ μL (HNO_3, 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
<i>Blanco</i>	<i>0</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>0</i>
<i>1</i>	<i>2.5</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>2.5</i>
<i>2</i>	<i>5.0</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>5.0</i>
<i>3</i>	<i>10.0</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>10.0</i>
<i>Muestra</i>	<i>----</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>---</i>

Tabla II. Parámetros Instrumentales para análisis del Plomo (Varian, 1999).

Parámetros Instrumentales	
<i>Longitud de Onda</i>	<i>217 nm</i>
<i>Método</i>	<i>Concentración</i>
<i>Flujo de aire</i>	<i>3.5</i>
<i>Flujo de combustible</i>	<i>1.5</i>
<i>Corrección de fondo</i>	<i>Si</i>

Tabla III. Cadmio (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR μL	SOLVENTE mL	MATRIZ μL (HNO_3, 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
<i>Blanco</i>	<i>0</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>0</i>
<i>1</i>	<i>10</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>10</i>
<i>2</i>	<i>20</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>20</i>
<i>3</i>	<i>40</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>40</i>
<i>Muestra</i>	<i>---</i>	<i>100</i>	<i>5</i>	<i>---</i>

Tabla IV. Parámetros Instrumentales para análisis del Cadmio (Varian, 1999).

Parámetros Instrumentales	
<i>Longitud de Onda</i>	<i>228.8 nm</i>
<i>Método</i>	<i>Concentración</i>
<i>Flujo de aire</i>	<i>3.5</i>
<i>Flujo de combustible</i>	<i>4.5</i>
<i>Corrección de fondo</i>	<i>si</i>

Tabla V. Mercurio (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR μL	SOLVENTE mL	MATRIZ μl (HNO_3, 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
----------------	--	------------------------	--	-------------------------------

Blanco	0	100	5	0
1	35	100	5	35
2	70	100	5	70
3	140	100	5	140
Muestra	---	100	5	---

Tabla VI. Parámetros Instrumentales para análisis del Mercurio (Varian, 1999).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	253.7 nm
Método	Concentración
Flujo de aire	10.00
Flujo de combustible	2.00
Corrección de fondo	Si

Tabla VII. Zinc (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR μL	SOLVENTE mL	MATRIZ μl (HNO_3, 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	0.100	100	5	0.100
2	0.200	100	5	0.200
3	0.400	100	5	0.400
Muestra	---	100	5	---

Tabla VIII. Parámetros Instrumentales del Zinc (Varian, 1999).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	213.9 nm
Método	Concentración
Flujo de aire	10.0
Flujo de combustible	2.0
Corrección de fondo	Si

Este método es indiscutiblemente el más asequible en nuestro país a los laboratorios que se dedican al análisis de la contaminación metálica de las aguas. Por esta razón en el presente trabajo se realiza un mayor énfasis en los métodos de determinación de metales que emplean la espectrofotometría de absorción atómica.

Tabla IX. Límites de detección ($\mu\text{g/L}$) para varios elementos en diferentes técnicas de análisis, según Rucandío (1997) y Robinson (1996)

Técnica	Pb	Cd	Zn	Hg
EAA (Llama)	10	0.5	0.8	
EAA(horno de grafito)	0.05	0.003	0.01	
ICP Emision	20	1	1	

ICP Masas	0.02	0.02	.08
------------------	-------------	-------------	------------

Tabla X. Parámetros analizados y sus respectivos valores obtenidos

Estadísticas descriptivas					
Variables	Puntos de muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Pb	6	16.000	35.000	24.500	7.765
Cd	6	4.000	15.000	10.167	5.037
Zn	6	27.000	55.000	36.833	10.381
Hg	6	2.400	4.000	2.967	0.568
pH	6	6.160	7.540	6.777	0.580
T °C	6	27.200	33.500	30.450	2.114
O.D	6	2.200	3.600	2.767	0.547
Conductividad	6	2.130	1447.000	828.855	474.237
Humedad Higroscópica (%)	6	0.610	17.020	10.322	5.949
Materia Orgánica (%)	6	7.300	9.500	8.415	0.734
Carbonatos (%)	6	32.500	74.500	56.875	16.262

Puntos de muestreo	Mangle (mg/L)			agua					Sedimento		
	Pb	Cd	Zn	Hg	pH	T °C	O.D	Conduc.	Humedad Higroscopica (%)	Materia Organica (%)	Carbonatos (%)
Albaro Obregon	32.00	15.00	55.00	3.00	7.54	27.2	3.6	931	11.92	7.3	65
Ramonal	35.00	15.00	42.00	2.90	7.46	30.5	2.8	731	9.91	8.41	60.00
Palmar	25.00	14.00	36.00	3.00	6.5	31.5	2.2	2.13	17.02	9.5	41.75
Sac-xan	22.00	6.00	32.00	2.40	6.6	33.5	2.5	1026	15.32	8.1	32.50
Juan Sarabia	16.00	4.00	29.00	4.00	6.4	30.7	2.3	836	7.15	8.83	74.50
Desembocadura rio Hondo	17.00	7.00	27.00	2.50	6.16	29.3	3.2	1447	0.61	8.35	67.50